共同研究報告書
整理番号第２８８号

コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書

－電磁誘導法・電磁波反射法による鉄筋位置およびかぶりの測定－

平成15年３月

独立行政法人土木研究所
技術推進本部構造物マネジメント技術チーム
日本構造物診断技術協会

Copyright © (2003) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第288号 2003年3月

コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書

－電磁誘導法・電磁波反射法による鉄筋位置およびかぶりの測定－

独立行政法人土木研究所
技術推進本部構造物マネジメント技術チーム

主席研究員　河野　広隆
主任研究員　久田　真
研究員　田中　良樹※1
交流研究員　野田　一弘

日本構造物診断技術協会

研究委員　毎田　敏郎
〃　黒岩　和彦
〃　鈴木　透
〃　瀬川　祐司
〃　藤原　貴央

※1：2002年3月まで

要旨

構造物マネジメント技術チームと日本構造物診断技術協会は，各種の非破壊試験を活用した鉄筋腐食診断技術の開発・改善を目標とし共同研究を行った。本報告書では，電磁誘導法ならびに電磁波反射法を用いて非破壊でコンクリート構造物の鉄筋位置およびかぶりを調査する方法について検討した結果を報告した。特に，かぶりの測定精度に影響を与えるかぶり，鉄筋径およびコンクリートの含水率に関して検討を行った。

キーワード：コンクリート構造物，非破壊試験，かぶり，鉄筋位置，電磁誘導法，電磁波反射法

コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書

－電磁誘導法・電磁波反射法による鉄筋位置およびかぶりの測定－

目　次

1．序 1

2．試験法の原理と特徴 2
2．1　非破壊試験による鉄筋位置およびかぶりの測定原理 2
2．2　電磁誘導法 3
2．3　電磁波反射法（レーダー法） 6
2．4　その他の方法 8

3．コンクリート供試体によるかぶり測定結果の検討 9
3．1　実験概要 9
3．2　測定精度に及ぼすかぶり深さの影響 21
3．3　測定精度に及ぼす含水状態の影響 24
3．4　測定精度に及ぼす鉄筋径の影響 26
3．5　供試体による測定結果のまとめ 26

4．実構造物によるかぶり測定結果の検討 28
4．1　実験概要 28
4．2　かぶり測定結果の検討 35

5．まとめ 36
5．1　コンクリート供試体によるかぶりの測定結果について 36
5．2　構造物によるかぶりの測定結果について 36
5．3　今後の課題 36

付属資料 39
付属－1　コンクリート供試体による鉄筋位置およびかぶり測定結果 41
付属－2　実構造物による鉄筋位置およびかぶり測定結果 49
付属－3　電磁誘導法・電磁波反射法によるコンクリート構造物の鉄筋位置およびかぶり測定手順(案) 83

コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究

担当者名簿

全体とりまとめ

土木研究所構造物マネジメント技術チーム

主席研究員	河野　広隆
主任研究員	渡辺　博志
主任研究員	久田　　真
研究員	田中　良樹※1
研究員	古賀　裕久

日本構造物診断技術協会

理事・技術委員長	飯野　忠雄
技術委員	竹田　哲夫
技術委員	内田　　明
技術委員	松村　英樹

診断マニュアルWG（鉄筋コンクリート構造物の健全度診断マニュアル（案）の改訂を担当）

土木研究所構造物マネジメント技術チーム

主任研究員	渡辺　博志	研究員	古賀　裕久
主任研究員	久田　　真	交流研究員	野田　一弘
研究員	田中　良樹※1	交流研究員	田中　秀治

日本構造物診断技術協会

技術委員		松村　英樹	
研究委員	WGリーダー	野永　健二	
研究委員	WGサブリーダー	猪八重　由之	
研究委員			
	瀬野　康弘	笠井　和弘	込山　貴仁
	森　二三人	吉田　光秀	坂井　　渉
	峰村　富夫	新谷　　毅	鈴木　宏信
			谷岡　洋一
			石本　義將
			遠藤友紀雄※2

鉄筋腐食WG（自然電位法，分極抵抗法による鋼材の腐食度評価についての検討を担当）

土木研究所構造物マネジメント技術チーム　　主任研究員　渡辺　博志

日本構造物診断技術協会

研究委員	WGリーダー	渡辺　　寛	
研究委員	WGサブリーダー	井川　一弘	
研究委員			
	安田　敏夫	尾之内　和久	秋山　　暉
	酒井　徳久	毎田　敏郎	峰村　富夫
	柴田　浩司	田代　賢吉	根本　正幸
			上岡　誠一
			綿貫　輝彦

リバウンドハンマーWG（反発度法によるコンクリート品質評価についての検討を担当）

土木研究所構造物マネジメント技術チーム　　研究員　古賀　裕久

日本構造物診断技術協会

研究委員　WGリーダー　福田　暁

研究委員　WGサブリーダー　石井　和夫

研究委員

野永　健二　今尾　勝治　伊藤　祐二　高橋　功

川崎　克己　峰村　富夫　森　正嗣　北園　英明

かぶりWG（電磁誘導法・電磁波反射法による鉄筋位置およびかぶりの測定についての検討を担当）

土木研究所構造物マネジメント技術チーム

主任研究員　久田　真

研　究　員　田中　良樹※1

交流研究員　野田　一弘

日本構造物診断技術協会

研究委員　WGリーダー　毎田　敏郎

研究委員　WGサブリーダー　鈴木　透

研究委員

黒岩　和彦　瀬川　祐司　峰村　富夫　藤原　貴央

※1：2002年3月まで

※2：2002年9月まで

※　本共同研究報告書の内容は，かぶりWGが主に検討し，執筆した。

1．序

鉄筋コンクリートの構造物がその機能を発現するためには，埋設された鉄筋が健全な状態（腐食を生じていない状態）であることが前提である。しかし，鉄筋を保護する役割を担うかぶりコンクリートは，凍害や塩害，中性化によって鉄筋の保護性能を低下させ，すり減り作用などにより減少する。

これらの性能の低下および劣化は，一般的には緩慢に進行するため，所要のかぶりが確保された新設の鉄筋コンクリート構造物などにおいては，供用中に構造物の機能が損なわれることはない。このため，鉄筋コンクリート構造物の設計においては，構造物の耐久性を確保するために，構造細目として最小かぶりが規定されている。施工に際しては，鉄筋組立て時にスペーサーなどを用いて設定されたかぶりが確保されるよう注意が払われている。しかし，コンクリート打設時の鉄筋の移動や，型枠の立上げ精度などの点から，かぶり不足が生じる可能性が否定できない。

鉄筋腐食の直接的な原因となる中性化や塩化物イオンの浸透は，コンクリートの表面から進行するものであり，かぶり不足はコンクリート構造物の劣化速度に密接に関連するものである。このことから，正確なかぶりを計測することで，コンクリート構造物の健全度診断や，構造物の将来の耐久性予測を行う上での非常に重要な情報を得ることができる。

かぶりを的確に把握する方法としては，鉄筋をはつり出す方法があるが，この方法では局所的なかぶり値は把握できるものの，部分的にコンクリート構造物を破壊することになる。構造物全体のかぶりを測定することには，構造物へのダメージを考えると非現実的である。このような背景から，非破壊試験によってかぶりを推定する必要があり，これまでも各方面で技術開発が行われ，計測機器も数多く市販されるようになってきた。

しかし，非破壊試験によってかぶりを推定する場合，その測定原理や機器の特性によって，必ずしも高い精度が確保されているとは言い難いのが現状である。

本文では，比較的使用頻度が高く，簡易な機器構成で計測可能な，電磁誘導法と電磁波反射法を取り上げ，供試体ならびに実構造物での測定を行い，計測に際しての留意事項について検討した。また，コンクリート構造物において効率的にかぶりを測定する方法について考察し，これらの知見に基づいて，電磁誘導法ならびに電磁波反射法を利用した，精度の良いかぶりの測定を行うための測定手順（案）を提案し，巻末に付属資料として掲載した。

2．試験法の原理と特徴

2．1　非破壊試験による鉄筋位置およびかぶりの測定原理

一般に，鉄筋のかぶりを非破壊で推定する方法としては，電磁誘導法，電磁波反射法，放射線透過法および超音波法がある。電磁誘導法は，コイルが巻かれたプローブに一次交流電源を流して交流磁場を発生させ，その磁場中に鉄筋が存在した場合に生じる二次電流から，発生した電圧の変化を把握し，コンクリート中の鉄筋のかぶりを評価するものである。電磁波反射法は，レーダー法と称されるもので，放射した電磁波が，電気的に性質の異なる物質境界の存在により反射される現象を活用した測定手法である。放射線透過法は，医療分野で使われる，いわゆるX線法と同様のものであり，コンクリート構造物に放射線を透過させ，鉄筋により生じる影を解読する方法である。また，超音波法は，コンクリート中を伝播する音波が鉄筋などの異物の境界面で反射あるいは回折する性質を利用したもので，送信探触子からコンクリート中に伝播した超音波の反射音を受信探触子で検出し，その間の所要時間を用いて距離を算出し，鉄筋位置を計測する方法である。各方法の特徴を**表－2.1**に示す。

これら４方法のうち，放射線透過法は実際の使用にあたっては安全面や法的な規制等の特殊性があるので，ここでは触れないこととした。また，超音波法も精度面でやや問題があるので除外し，電磁誘導法および電磁波反射法について，以下に説明する。

表－2.1　鉄筋位置計測手法の評価

測定手法	精度	使い易さ	実績	経済性	その他
電磁誘導法	○	◎	◎	◎	――
電磁波反射法	○	◎	◎	◎	――
放射線透過法	◎	△	○	△	要資格
超音波法	△	◎	○	◎	――

◎：優れている，○：普通，△：劣る

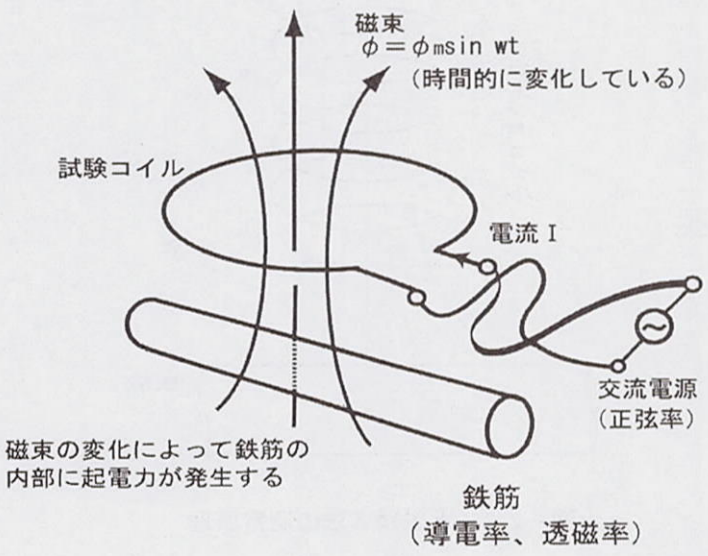
２．２　電磁誘導法

電磁誘導法は，試験コイルに交流電流を流すことによってできる磁界内に，試験対象物を置くことによって試験を行う。

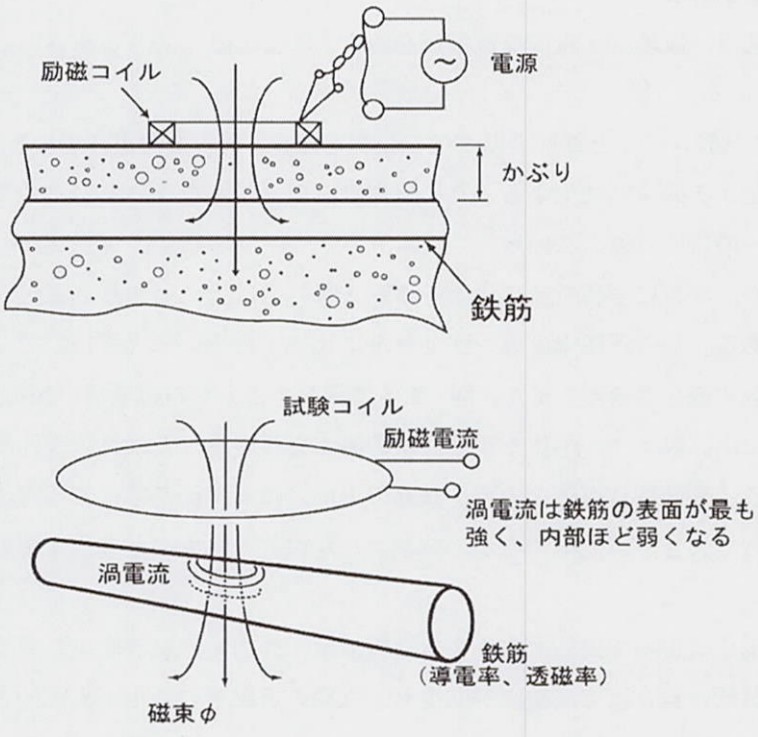
図－2.1 に試験コイルと鉄筋の基本的な配置を示す。導線を円形に巻いた試験コイルに交流電流を流すと，時間的に変化する磁束が発生する。この磁束は試験コイルを貫いているので，起電力が試験コイルに生じる（ファラデーの電磁誘導の法則）。

試験コイルの磁束に影響を及ぼす因子は，大きく分けて二つあり，磁束の通しやすさを示す透磁率と鉄筋の導電率である。鉄の透磁率はコンクリートに比べて桁違いに大きいので，鉄筋の存在による透磁率の変化は磁束を大きく変化させる。また，図－2.1 で示したような電磁誘導現象は鉄筋の内部でも起こる。図－2.2 に示すように，試験コイルが作る正弦波状の磁束を接近させた鉄筋の表面や内部にも試験コイルと同様に起電力が生じる。鉄筋は良導体なので，鉄筋の内部には渦電流と呼ばれる電流が流れる。この渦電流は鉄筋の導電率によって大きさが変化するが，試験コイルの作ったものとの磁束を打ち消す方向に，磁束を生じる向きに流れる。

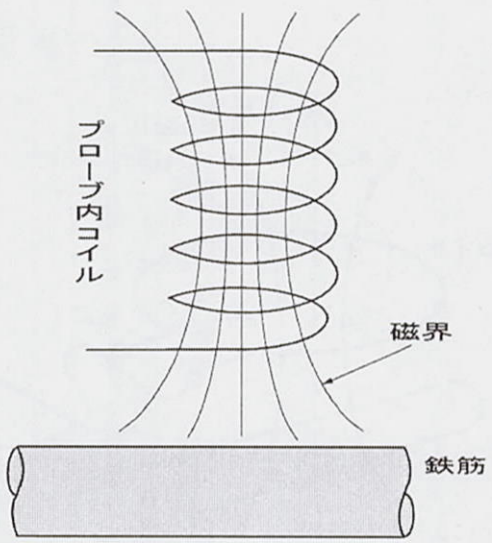
電磁誘導現象によって鉄筋に発生する渦電流は，作用する交流磁束の周波数が高いほうが多く発生するため，周波数が低い場合には渦電流が減少し，鉄筋の透磁率の変化が支配的となる。このような場合には，鉄筋の磁気的な特性のみに影響を受けるので磁気的試験法，周波数が高く渦電流が主体となって磁束に変化を与える場合には，渦流試験法と呼ばれている。電磁誘導法による鉄筋探査装置は磁場を形成し，その影響度を求めるためのプローブと，磁場の変化により発生した電圧測定するための測定機器により構成される。 電磁誘導法の測定原理を図－2.3 に，測定フローを図－2.4 に示す。



図－2.1　試験コイルによる磁束と鉄筋

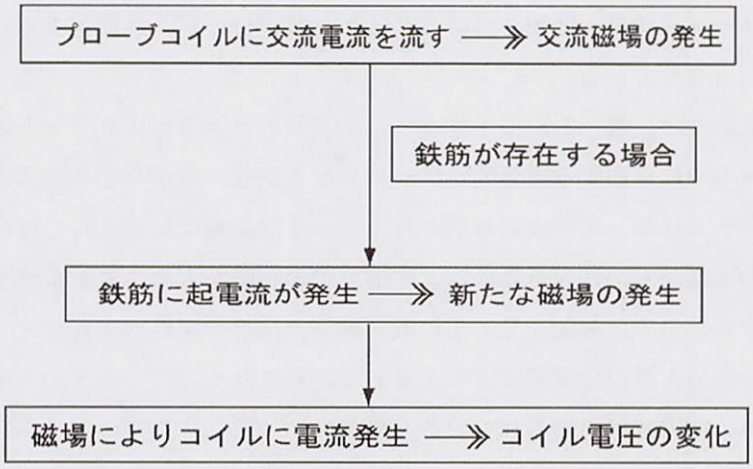


図－2.2　鉄筋中に発生する渦電流



図－2.3　電磁誘導法の測定原理

このコイルの電圧の変化は，鉄筋の径・寸法やコンクリート表面からの距離により変化するため，この関係を活用して，鉄筋のかぶり，位置あるいは鉄筋径等を評価している。



図－2.4　電磁誘導法の測定フロー

２．３　電磁波反射法（レーダー法）

この手法は，元々は地中埋設物や地盤下の空洞探査を目的として，装置の開発および実用化が進められたものである。コンクリート構造物へ適用されはじめてから日が浅いが，鉄筋探査あるいは豆板，ジャンカなどの欠陥部の把握に利用されている。

電磁波反射法の測定原理は，図－2.5 に示すように，アンテナからコンクリート表面に向けて放射された電磁波が，コンクリート中に存在する電気的な性質の異なる鉄筋，空洞などの境界面などにより反射され，受信アンテナでキャッチされる。電磁波が放射されてから，対象物で反射されて再びアンテナで受信されるまでの時間と電磁波の速度から，鉄筋あるいは欠陥部までの距離を求めることができる。また，このときにアンテナを移動して鉄筋からの反射波を受信すれば，鉄筋の位置が測定できる。

コンクリートの浅い部分を高い分解能で探査する必要があるため，アンテナから放射される送信波には，パルス幅のきわめて短い電磁波が用いられている。

コンクリート中での電磁波の伝播速度 V は，次式で表される。

$$V = C / \sqrt{\varepsilon_r} \qquad \text{(2.1) 式}$$

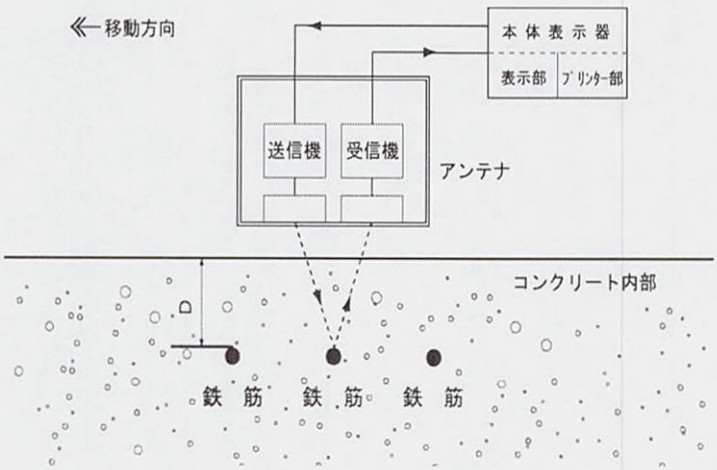
ここに，　C　：真空中（空気中）での電磁波の速度（3×10^8m/s）

ε_r：コンクリートの比誘電率（おおむね 6～12 程度）

対象物との境界面までの距離 D は，発信時刻から反射波の受信時刻までの時間差 T より，次式で算出する。

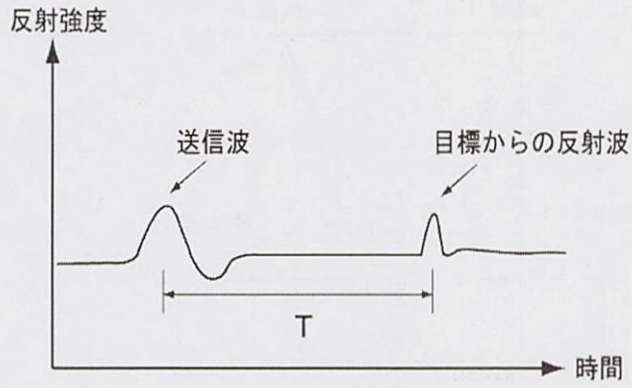
$$D = VT / 2 \qquad \text{(2.2) 式}$$

対象物と境界面までの距離 D を算出する基となる電磁波の速度は，(2.1) 式に示したように，コンクリートの比誘電率の影響を大きく受ける。比誘電率の大小は，コンクリートの組成等の影響もあるが，含水率の



図－2.5　測定原理図

影響がきわめて大きい。精度を向上させるためには，この補正が重要なポイントである。反射波形の模式図を図－2.6に示す。また，対象物の材質などは，図－2.7に示したように，反射波の波形を観察することにより判断することができる。

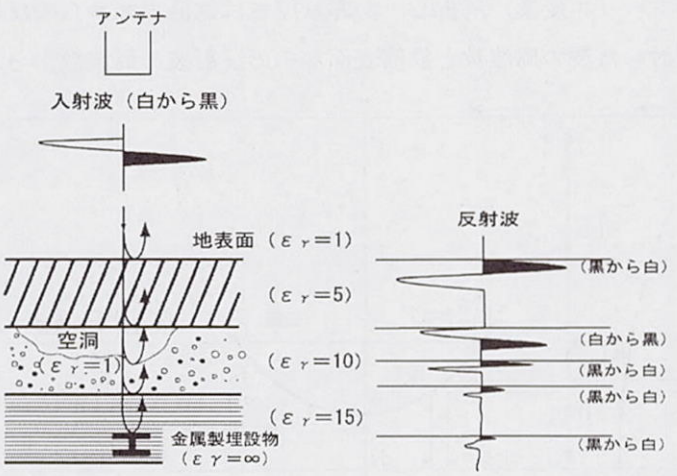


図－2.6　反射波形の模式図

反射波の特徴：①比誘電率の小さな物質から大きな物質へ電磁波が入射する場合には，反射波の位相は反転する。

（空洞からコンクリート，コンクリートから鋼材，など）

②比誘電率の大きな物質から小さな物質へ電磁波が入射する場合には，反射波の位相は反転しない。（コンクリートから空洞，など）

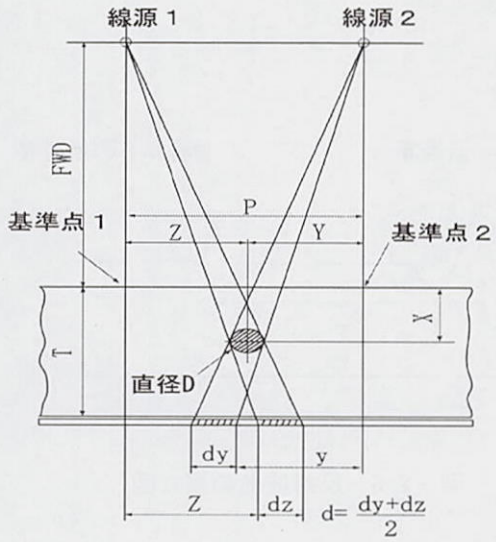


図－2.7　反射した電磁波の波形

２．４　その他の方法

（１）放射線透過法

放射線透過法による鉄筋径およびかぶりの測定は，異なる２地点からＸ線にて透影したコンクリート表面の画像に対し，図－2.8 に示した幾何学的な関係から鉄筋位置，鉄筋径およびかぶりを推定する方法である．



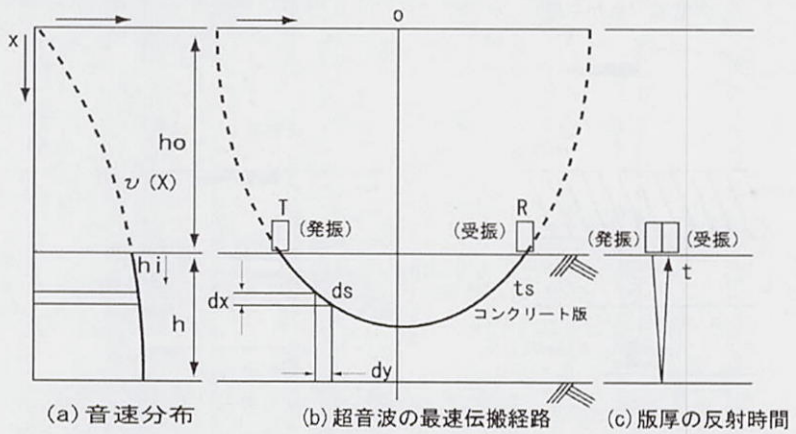
図－2.8　放射線透過法による測定原理の説明

（２）超音波法

超音波法による鉄筋径およびかぶりの測定は，超音波を入射した際の最速経路を予測することによりコンクリート内部の速度分布を求める（図－2.9 参照）ことによって得られ，以下の２つが提案されている．

１）鉄筋表面からの反射波の到達時間からかぶり厚さを求め，鉄筋内部を回折した波の到達時間と鉄筋表面からの反射波到達時間の差から鉄筋径を求める方法．

２）反射波をＦＦＴ（高速フーリエ変換）解析し，かぶり厚さは鉄筋表面からの反射波の周波数から求め，鉄筋径は鉄筋内部を反射した波の周波数と鉄筋表面からの反射波の周波数から求める方法．



図－2.9　超音波法による音速分布と超音波の最速伝達経路の説明

3．コンクリート供試体によるかぶり測定結果の検討

3．1　実験概要

3．1．1　目的

本試験では，電磁誘導法ならびに電磁波反射法（レーダ法）の特徴や測定機器による鉄筋位置およびかぶりの測定可能範囲等を明確にする目的として，５種類の試験装置を用い，かぶり，鉄筋径およびコンクリートの含水状態が異なる供試体でかぶりの測定を実施した。なお，測定結果の詳細な結果については，巻末の付属資料「**付属－１　コンクリート供試体による鉄筋位置およびかぶり測定結果**」に取りまとめた。

3．1．2　測定供試体概要

（1）コンクリートの諸元

使用材料：　セメント：　早強ポルトランドセメント

粗 骨 材：　山砂（君津産）※1，細砂（田沼産）※2

粗 骨 材：　砕石（田沼産）※3，砕石（鳥形山産）※4

混 和 剤：　AE減水剤（ポゾリスNo.70）

配合条件：　コンクリートの配合を表－3.1に示す.

材　　齢：　測定時の供試体コンクリートの材齢：約２年８ヶ月（打設日1999年11月８日）

養生条件：　コンクリートの打設後,材齢３日で脱型し,その後は屋内の気中乾燥状態の条件下に放置した。

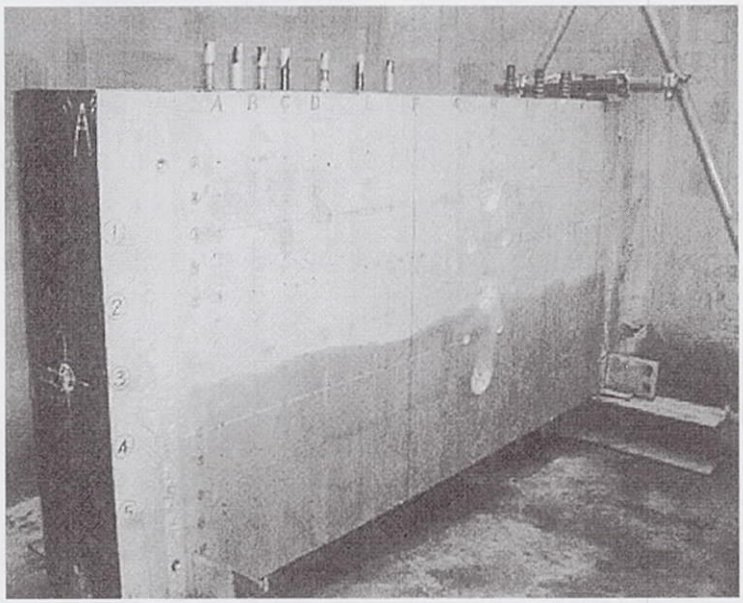
含水状態の調整：測定に先立ち供試体の測定面下半分（測定面はコンクリート打設面）を１日間湿布養生を行い，表面部分を湿潤状態とした。

粗骨材最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)						
					水 W	セメント C	細骨材 S※1	細骨材 S※2	粗骨材 G※3	粗骨材 G※4	混和剤 A
20	8	62.4	4.5	44.1	156	250	493	328	538	537	0.781

表－3.1　コンクリートの配合

（2）供試体概観

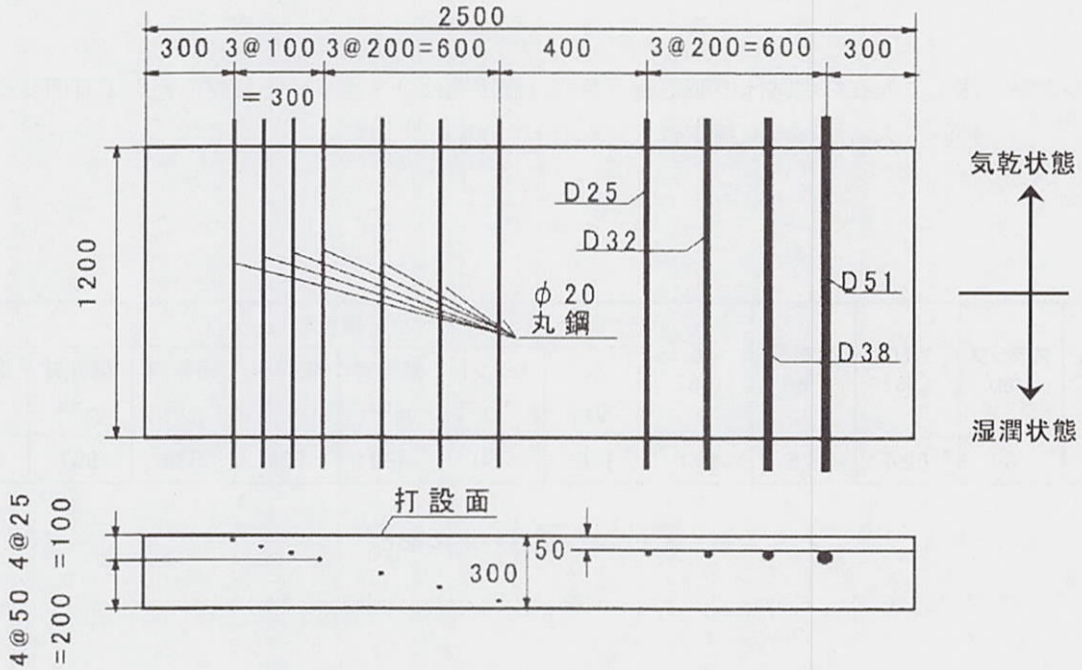
測定に用いた供試体の外観を図－3.1に示す。



図－3.1　測定供試体

（3）配筋状態

測定に用いた供試体の配筋を図－3.2に示す。



図－3.2　供試体配筋図

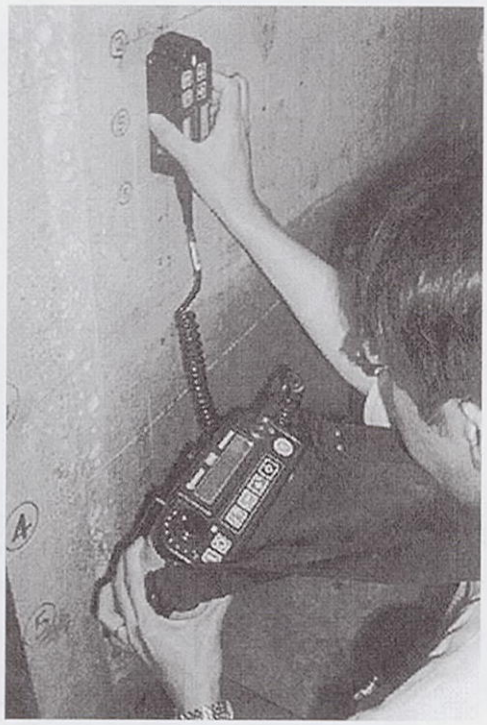
３．１．３　測定機器の概要

今回の試験に用いた測定器の概要を以下に示す。この測定機器の概要は，試験時に各測定者にヒヤリングした結果およびカタログ等を基にまとめたものである。写真は試験時の様子を撮影したものである。

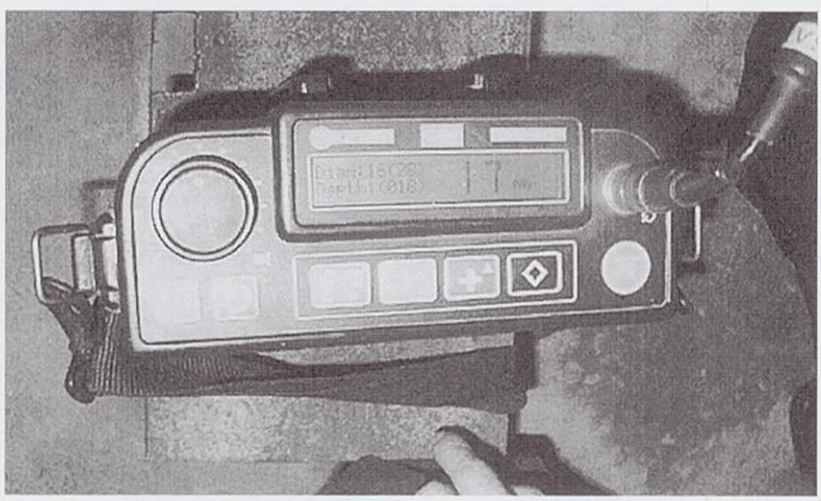
（１）電磁誘導法①

項目	内容
会社名	Ｓ社
製品名	CM9
原理（詳細）	パルス誘導※）
表示方法	液晶デジタル表示
電源	充電式 Ni-Cd 電池（AC100V 充電式）
使用可能時間	
本体寸法	247(W)×103（H)×174（D)mm
質量	1.5kg
オプション	大型ヘッド：100(W)×210（H)×52（D)mm、800g
測定能力	鉄筋間隔が 50mm 以上であること（径による） 鉄筋近傍に金属類が無いことが望ましい （鉄筋探査） 標準ヘッド　鉄筋：φ50、最大探知深さ：105mm 大型ヘッド　鉄筋：φ50、最大探知深さ：200mm （かぶり測定） 標準ヘッド　最大かぶり：60～90mm 大型ヘッド　最大かぶり：130～200mm （鉄筋径） 標準ヘッド　鉄筋径の測定可能深さ：30～80mm 大型ヘッド　鉄筋径の測定可能深さ：80～170mm
精度	±2mm、±15%　（大型ヘッド±30%）
特徴	高圧線など周辺の磁界の影響を受けない サーチヘッドの指向性が優れている サーチヘッドが鉄筋上にくると信号音が変化する
キャリブレーション	
データの保存機能	なし
印字出力機能	なし
PC 接続機能	なし

※）電磁誘導法で使用する渦電流にパルスを加えることで，渦電場に指向性を持たせた方式



図－3.3（a） 測定状況（電磁誘導法①）

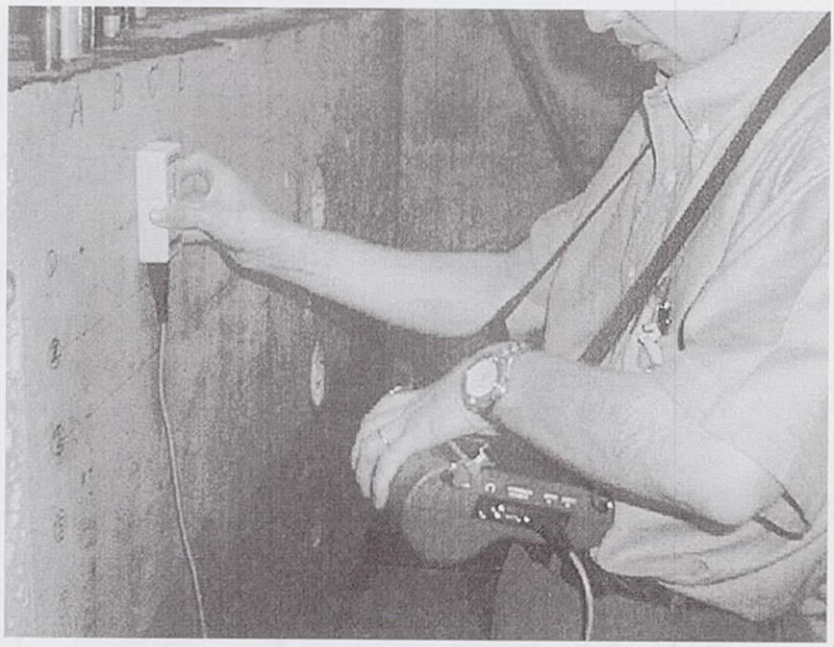


図－3.3（b） 結果の表示（電磁誘導法①）

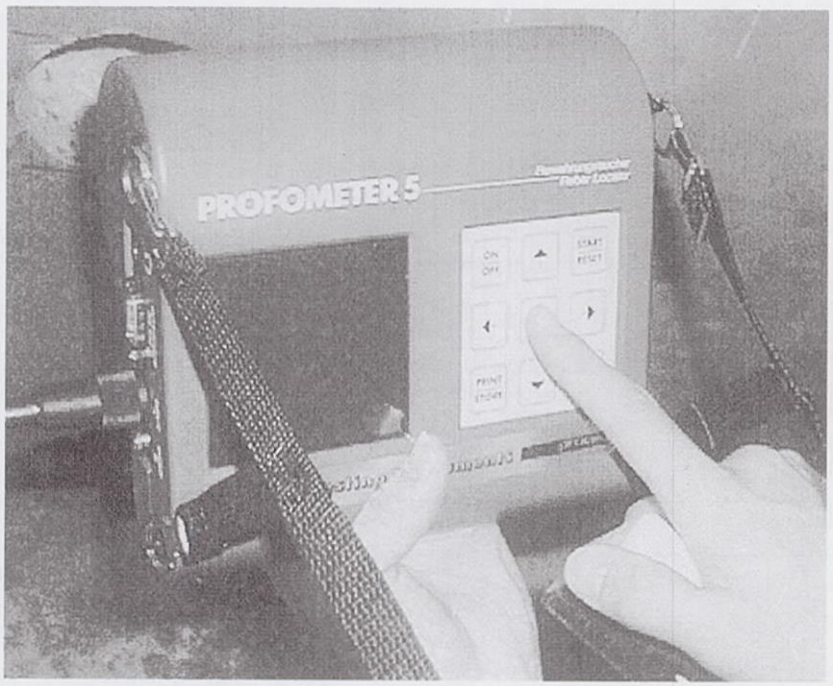
（２）電磁誘導法②

項目	内容
会社名	Ｆ社
製品名	プロフォメーター５
原理（詳細）	パルス誘導※)
表示方法	液晶デジタル表示 かぶりを数値で表示（配筋状態を表示できる仕様あり）
電源	単三乾電池６本
使用可能時間	45 時間
本体寸法	プローブ：180(W)×180（L)×80（H)mm 本体：463(W)×365（L)×107（H)mm
質量	2.4kg　（本体のみ 1.0kg）
オプション	プリンター データ管理ソフト
測定能力・精度	かぶり測定 スモール設定：かぶり 5mm～100mm（φ2～50） ラージ設定：かぶり 60mm～180mm（φ2～50） 測定可能間隔 スモール設定：25mm～130mm（鉄筋径、かぶりによる） ラージ設定：45mm～200mm（鉄筋径、かぶりによる）
特徴	コンクリートの品質や含水状態の影響を受けない プローブが鉄筋上を通過するとブザーが鳴る 鉄筋の方向を判断できる 一つのセンサーで，かぶり・位置・径の測定が可能である
キャリブレーション	磁気帯び骨材や特殊セメントの影響を自動的に補正
データの保存機能	約 10 万点のデータを記憶可能
印字出力機能	専用プリンターで出力可能
PC 接続機能	専用ソフトにより取り込み可能

※）電磁誘導法で使用する渦電流にパルスを加えることで，渦電場に指向性を持たせた方式



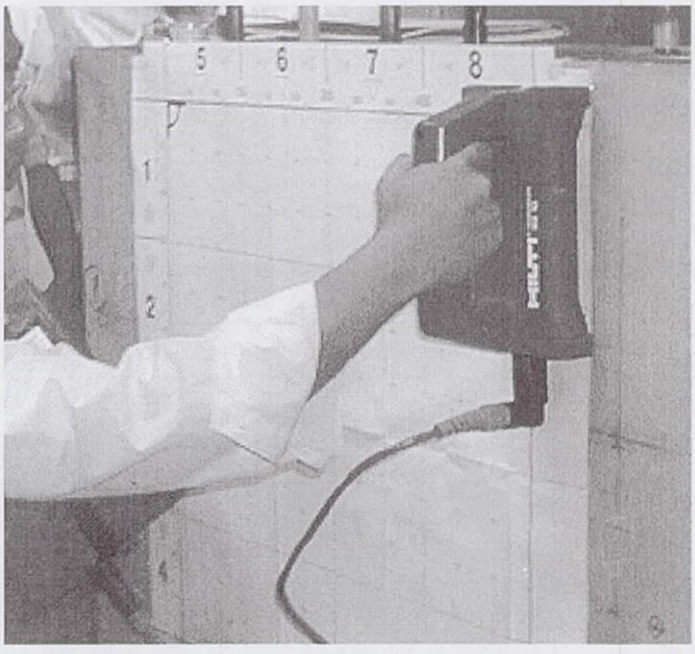
図－3.4（a）測定状況（電磁誘導法②）



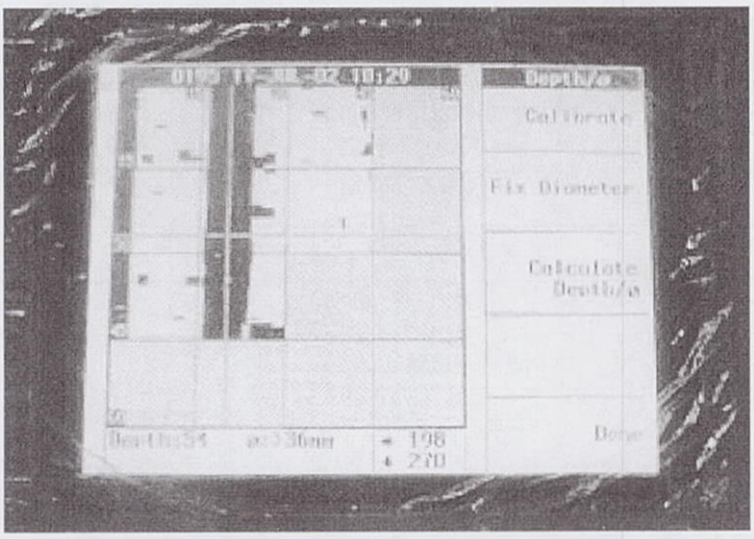
図－3.4（b）結果の表示（電磁誘導法②）

（３）電磁誘導法③

項目	内容
会社名	H社
製品名	ＦＳ１０
原理（詳細）	電磁誘導法
表示方法	液晶デジタル表示（バックライト付き）
電源	バッテリー（外部電源供給可能）
使用可能時間	バックライトオフ：約 8～12 時間 バックライトオン：約 6～9 時間
本体寸法	モニター　270(W)×195（H)×80（D)mm スキャナー　230×133×140mm
質量	モニター　2.2kg スキャナー　1.0kg
オプション	照合用方眼紙
測定能力	かぶり：136～182（φ8～φ38） 鉄筋径：φ8～38（測定時最大かぶり 60mm）
精度	かぶり：±10%、鉄筋径：±１φ
特徴	照合用方眼紙を使用することで，面的な測定が容易である。測定結果においては，深さを設定する事で，設定値以浅の鉄筋を表示できる
キャリブレーション	
データの保存機能	非更新画像メモリ　42 枚
印字出力機能	プリンターインターフェイス（パラレル）
ＰＣ接続機能	シリアル接続



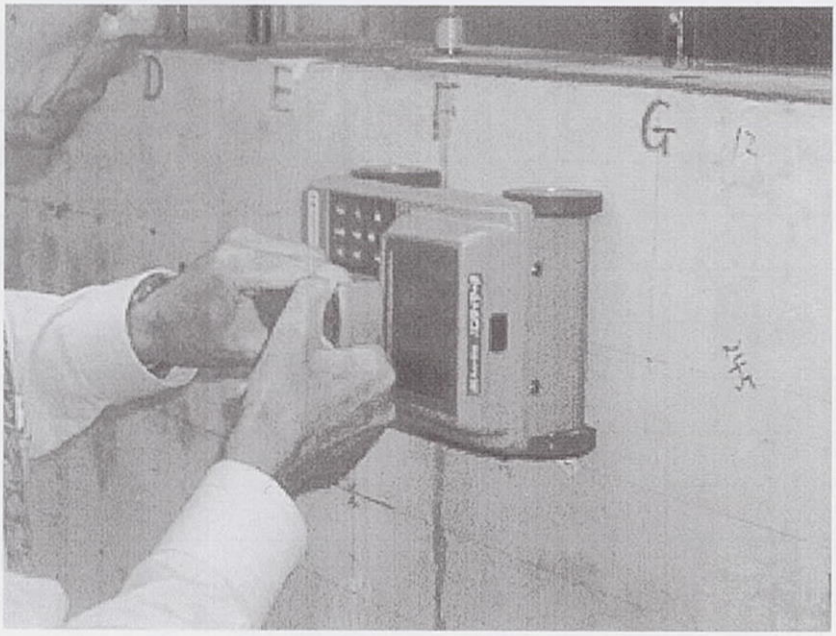
図－3.5（a）測定状況（電磁誘導法③）



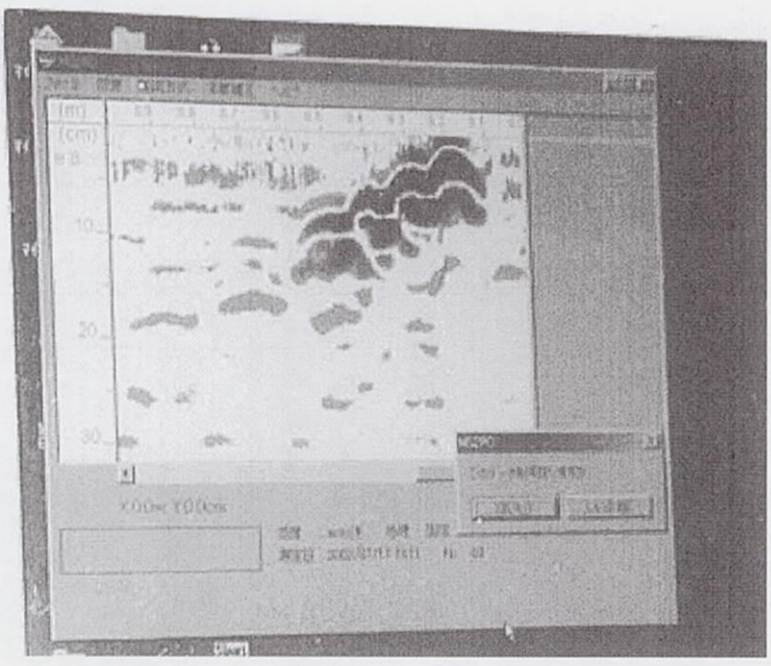
図－3.5（b）結果の表示（電磁誘導法③）

（４）電磁波反射法①

項目	内容
会社名	Ｎ社
製品名	NJJ-85A
原理（詳細）	電磁波反射法
表示方法	液晶デジタル表示
電源	バッテリ（リチウムイオン）およびＡＣ100V
使用可能時間	連続２時間（バッテリ使用時、充電 2.5 時間）
本体寸法	149(W)×147（H)×216.3（D)mm
質量	約 1kg
オプション	プリンター、キャリングケース、AC アダプタ
測定能力	かぶり：0.5～20cm（鉄筋径 6mm 以上） 鉄筋間隔：８ｃｍ以上（φ10、かぶり 6cm の場合） 測定距離：10m／１回（1 画面 50cm×20 画面）
精度	深度校正が適切な場合　：　±（5+測定値×0.1）mm 深度校正が不明な場合（校正値=0）　：　±（5+測定値×0.25）mm
特徴	非金属の探査が可能（空洞、CD 管、壁厚） 本体とアンテナ部が一体となっている。
キャリブレーション	
データの保存機能	10m／１回
印字出力機能	あり
PC 接続機能	あり



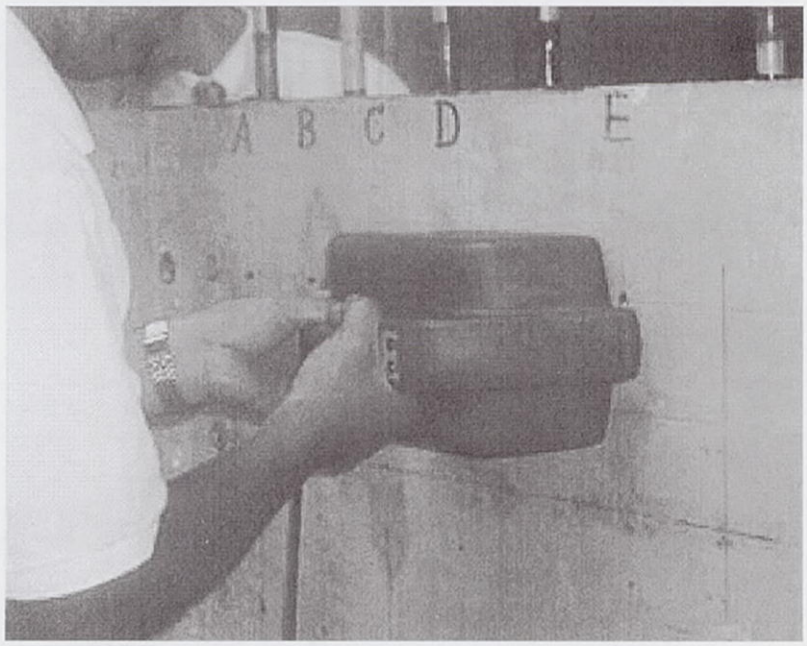
図－3.6（a） 測定状況（電磁波反射法①）



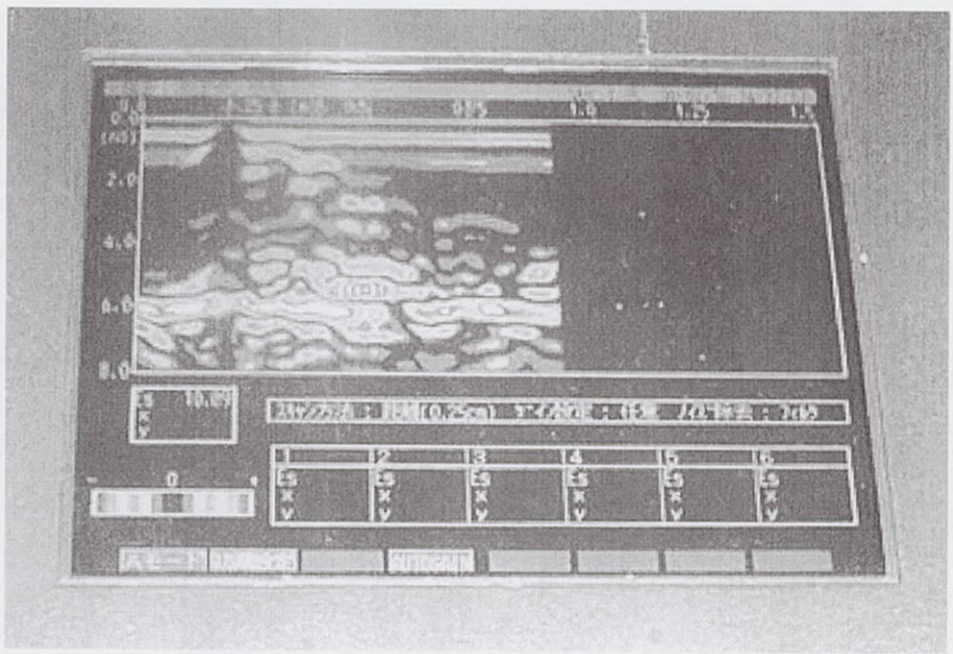
図－3.6（b） 結果の表示（電磁波反射法①）

（５）電磁波反射法②

項目	内容
会社名	Ａ社
製品名	ライトエスパー
原理（詳細）	電磁波反射法
表示方法	液晶デジタル表示（波形モード、画像モード） ８階調カラー、１６階調グレースケール
電源	AC100V／DC12V
使用可能時間	連続２時間（バッテリ 5Ah 使用時）および AC アダプタ
本体寸法	表示装置：251(W)×213 (D)×70 (H)mm アンテナ：150(W)×254 (D)×133 (H)mm
質量	表示装置：2.8kg（バッテリー除く）、アンテナ：1.5kg
オプション	キャリングケース、解析ソフト、三次元表示ソフト
測定能力	コンクリート 20cm（地中 30cm） 水平分解能は対象物の深度と同程度
精度	水平方向：最小測定間隔 2.5mm 垂直方向：±10%以内
特徴	アンテナ部は防滴構造 オートゲイン／ゲインカーブ機能 解析ソフト等により高度な解析が可能
キャリブレーション	
データの保存	内部メモリ：30MB 内蔵（約 300m のデータを保存） 外部メモリ：PC カード
印字出力機能	あり
ＰＣ接続機能	あり（ＰＣカード）



図－3.7（a） 測定状況（電磁波反射法②）



図－3.7（b） 結果の表示（電磁波反射法②）

３．２　測定精度に及ぼすかぶり深さの影響

３．２．１　電磁誘導法での測定結果

電磁誘導法で測定した各機種によるかぶりの測定結果を図－3.8 に示す。左図は，各機種で得られた測定値と，供試体のかぶりをノギスで測定した実測値との差（＝（測定値－実測値））とかぶりの大きさの関係，右図は，実測値との差を誤差（%）として換算した値（＝（測定値－実測値）÷（実測値））とかぶりの大きさの関係を示したものである。なお，測定結果Ⅰ～Ⅲと 3.1.3 で示した測定装置の順番は必ずしも一致していない。これらによれば，3 機種の測定結果の全てにおいて，測定されたかぶりの値は，実測値よりも小さくなる傾向が認められた。

各機種ごとの測定結果を比較検討すると，測定結果Ⅰは，鉄筋のかぶりが大きくなると測定精度が低くなる傾向にあった。また，測定結果Ⅰを用いた機種は，電磁誘導法の３機種の中で，かぶりが 200mm 程度の鉄筋まで検知しており，測定精度は低いが，最も深い位置まで鉄筋を検知することが可能であった。

測定結果Ⅱは，かぶりが 150mm 程度までの鉄筋を検知することが可能であった。測定精度はかぶりが大きい場合には，若干低くなるが，全体的に高い精度で鉄筋を検知できていることがわかる。検知できる深さは測定結果Ⅰほどではないものの，その測定精度については３機種の中で最も優れていると考えられる。

測定結果Ⅲでは，鉄筋の検知はかぶりが 100mm 以下の範囲に限られており，それよりかぶりの大きい場合には，検知が困難であった。かぶりが 70mm 程度までであれば，精度よく検知できており，特にかぶり 20mm 程度と比較的浅い位置にある鉄筋の検知は，他の２機種に比べて，精度よく測定できていた。

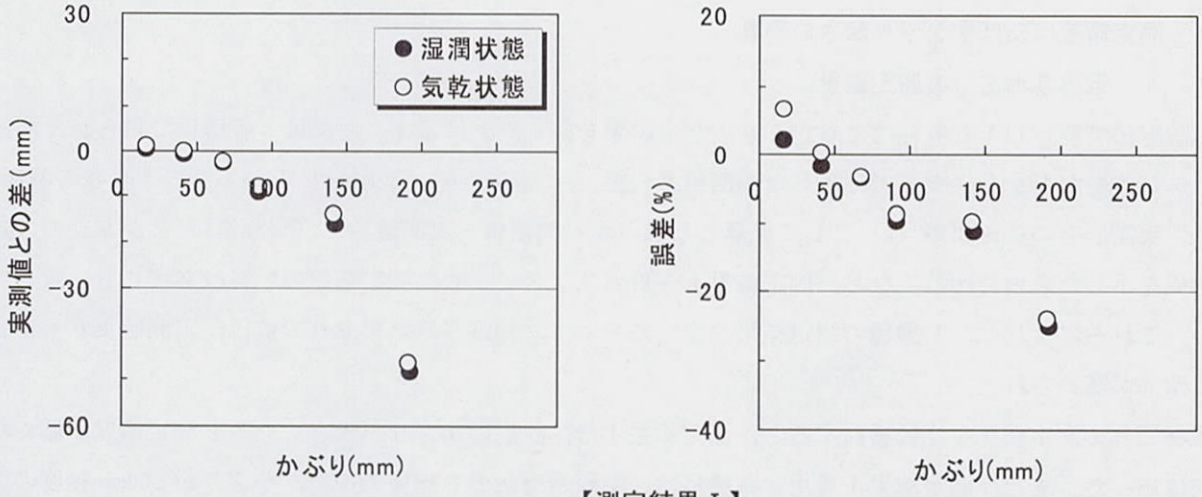
以上の結果から，同じ測定原理により測定した場合であっても，精度よく測定できる範囲が機器によって異なることが確認された。

３．２．２　電磁波反射法での測定結果

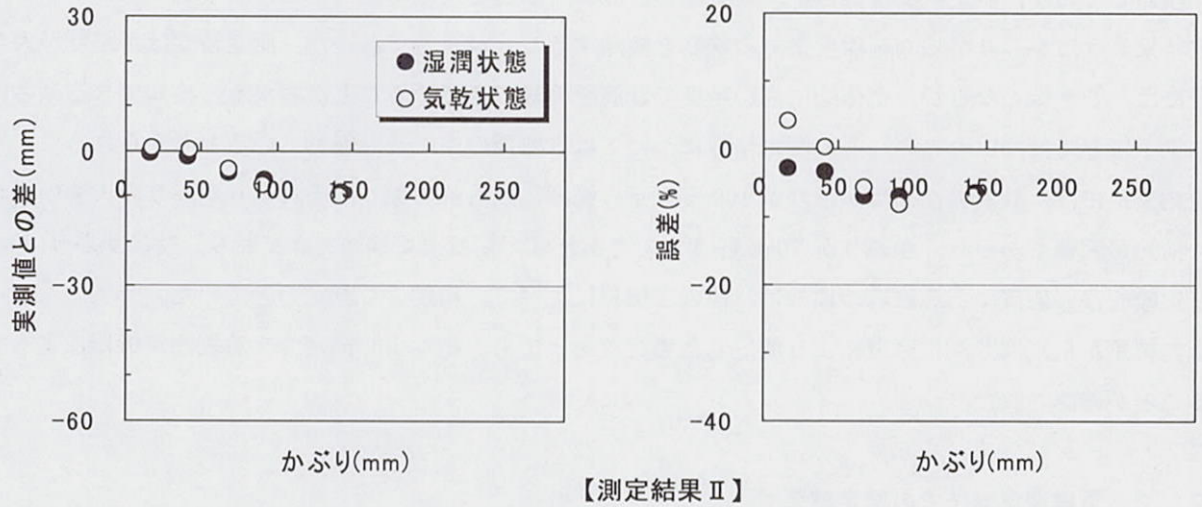
図－3.9 は，電磁波反射法で測定した結果を，上述同様に各機種ごとに示したものである。なお，電磁誘導法の結果と同様に，測定結果Ⅳ～Ⅴと測定装置の順番は必ずしも一致していない。今回の試験では，両者とも測定時にキャリブレーション（コンクリートの比誘電率の設定等）を行っているが，２機種の測定結果の傾向に違いが見られた。

各機種ごとの測定結果を比較すると，測定結果Ⅳは，かぶりが 20mm 程度と浅い位置に鉄筋が存在する場合には，20%以上の誤差が生じており，測定精度が悪い。しかし，それよりかぶりが大きい範囲での測定誤差は，ほぼ 10%以内であり，この範囲においてはかぶりの大きさと精度の間には，相関性は認められなかった。また，今回準備した最大のかぶり 250mm でも，精度よく検知することができた。

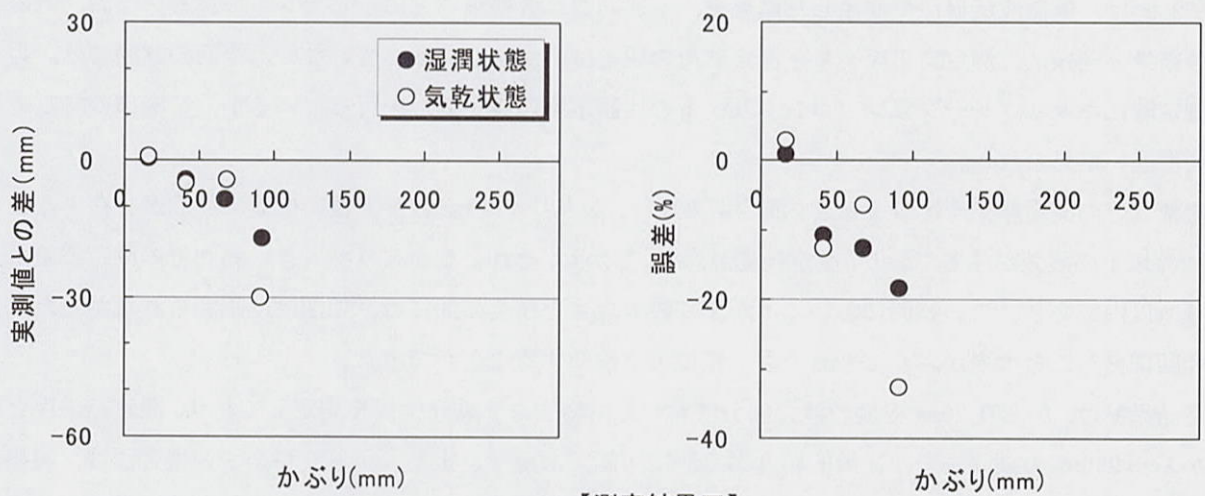
測定結果Ⅴは，かぶり 20mm 程度の浅い部分においても精度よく鉄筋位置を測定しており，測定結果Ⅳと同様にかぶり 250mm の鉄筋まで，比較的精度よく測定可能であった。また，かぶりが小さい場合には，実測値よりもかぶりの測定値は小さく，かぶりが大きくなると実測値よりも大きく測定される傾向が認められた。以上の結果から，電磁誘導法と同様に測定原理が同じ場合でも，機器の特性によって精度よく測定できる範囲が異なることが確認された。なお，電磁波反射法で精度のよい測定を行うためには，適切なキャリブレーションを行うことが重要である。



【測定結果Ⅰ】



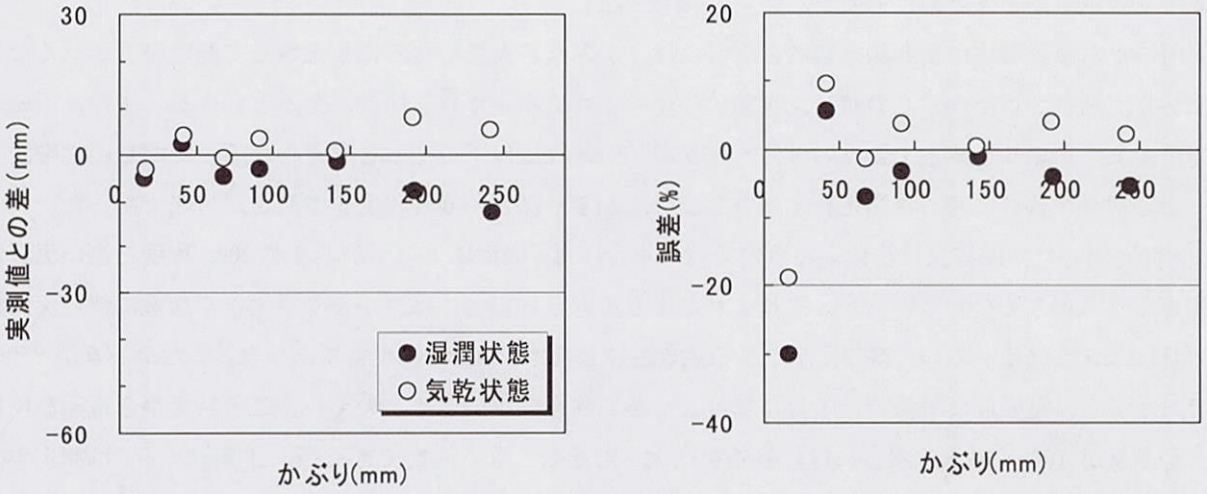
【測定結果Ⅱ】



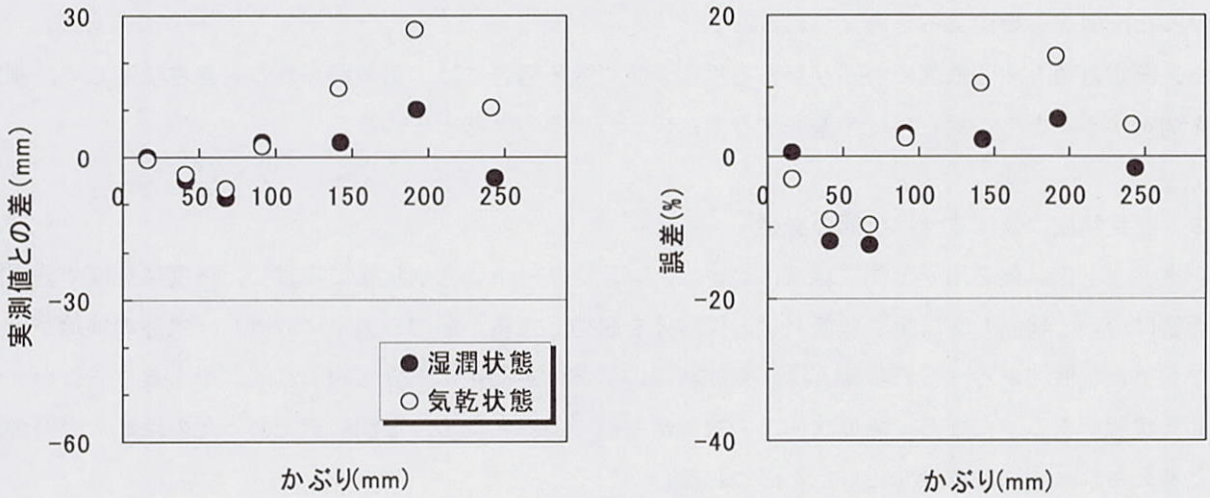
【測定結果Ⅲ】

図－3.8　電磁誘導法による各機種ごとの測定結果

（Ⅰ，Ⅱ，Ⅲは順不同で測定装置①，②，③とは必ずしも一致しない）



【測定結果Ⅳ】



【測定結果Ⅴ】

図－3.9　電磁波反射法による各機種ごとの測定結果

（Ⅰ，Ⅱは順不同で測定装置①，②とは必ずしも一致しない）

３．２．３　電磁誘導法と電磁波反射法の測定結果の比較

測定原理の違いが測定精度に及ぼす影響について検討するため，電磁誘導法と電磁波反射法のそれぞれの機種による測定結果をまとめたものが，図－3.10である。

今回用いた電磁誘導法による測定装置の場合には，かぶりが大きくなるにしたがって測定精度が低くなる傾向にあり，測定されたかぶりの値は，実測値に比べ小さく測定される傾向があるといえる。また，電磁誘導法で精度よくかぶりを測定できるのは，かぶりが100mm程度以下であると考えられる。ただし，電磁誘導法の中でもパルス誘導に基づき測定をする方法では，かぶり深さ150mm程度まで測定が可能であった。

一方，今回用いた電磁波反射法による測定装置の場合には，機種によらずかぶりが20mm程度と浅い場合には，測定誤差が大きくなっているが，それよりかぶりが大きい場合には，かぶりが大きくなるに伴い実測値とのズレは大きくなるものの，誤差はかぶりの大きさによらず，ほぼ10%程度であった。またかぶりが250mm程度であっても，電磁波反射法では十分に精度よくかぶりを測定できるといえる。この結果から電磁波反射法は，かぶりが100mm以上の場合には，誤差を増大させることなく測定できるが，100mm以下では測定誤差が大きくなる傾向が認められた。

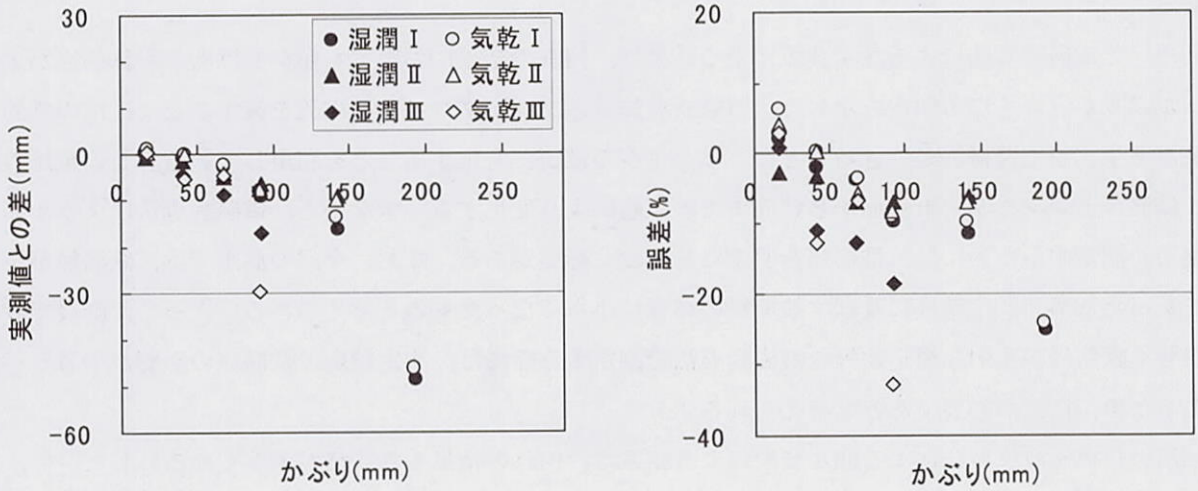
以上の結果から，要求する測定精度を確保するためには，測定原理や機器の特徴を十分に把握した上で，測定を行うことが重要である。またこれらの傾向は，測定する環境や構造物の状態などによっても変化すると考えられるので，この点について十分留意した測定原理の選定や2種類以上の機器を使用して計測するなどといった配慮が必要であると考えられる。

また，測定対象とする鉄筋のかぶりがある程度予想できる場合には，そのかぶりの大きさに応じて，測定原理を選定することも，測定精度を確保する手法の一つであると考えられる。

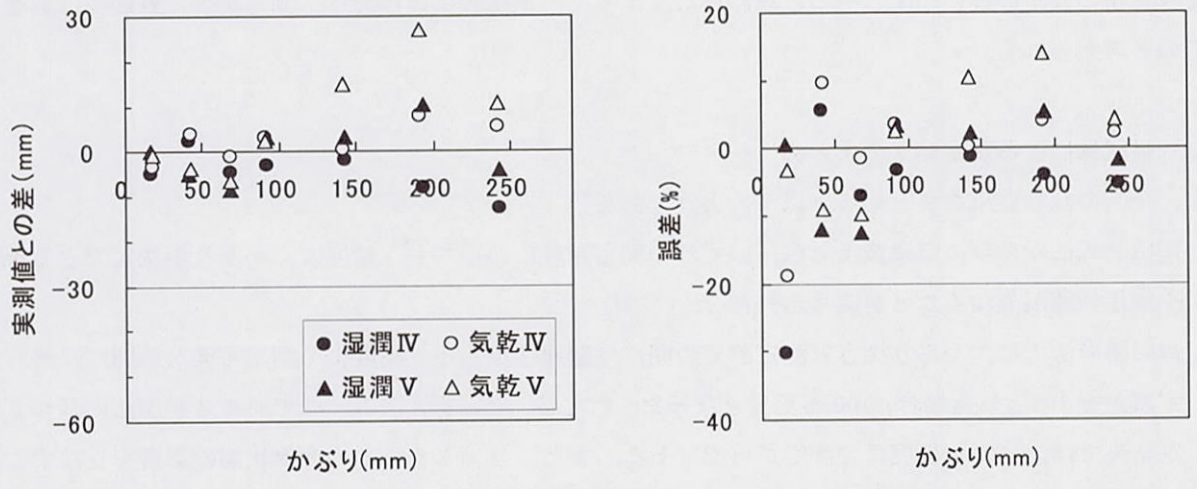
３．３　測定精度に及ぼす含水状態の影響

コンクリート供試体を用いた測定結果について，コンクリートの含水状態に着目し，精度に及ぼす含水状態の影響について検討した。気乾状態とは，供試体を脱型した後，屋内の気中に放置し，水分の供給がほとんどなかった状態である。湿潤状態とは，気乾状態の供試体を測定に先立ち約1日間，湿布養生を行い，吸水させた状態である。ただし，気乾状態での放置が長期であったため，湿潤状態であったのはごく表層付近のみと考えられ，内部は乾燥していたと思われる。

図－3.8～3.10によれば，電磁誘導法では，含水状態の違いによる影響は明確ではなかった。一方電磁波反射法では，湿潤状態の結果と気乾状態の結果とでは違いが明確であり，気乾状態の結果に比べ湿潤状態の結果は小さく，かぶりが大きいほどその傾向は顕著であった。電磁波反射法は，コンクリートの比誘電率の影響を受けるが，比誘電率は含水状態によっても変化するため，その影響が大きく表れていると考えられる。



【電磁誘導法結果集計】



【電磁波反射法結果集計】

図－3.10　電磁誘導法・電磁波反射法の精度に及ぼすかぶり深さ・含水状態の影響

３．４　測定精度に及ぼす鉄筋径の影響

図－3.11 は，かぶりを 50mm 程度，鉄筋径が D25～D51 の異なる径の鉄筋を埋設した場合について，電磁誘導法および電磁波反射法でかぶりを測定した場合の，実測値とのズレおよび誤差と鉄筋径の関係を示したものである。

今回用いた電磁誘導法による測定装置による結果は，何れの結果においても僅かではあるが鉄筋径が大きい程，かぶりが大きくなる傾向を示した。電磁誘導法は，プローブコイルに電流を流すことで近傍の鉄筋に起電流が発生，新たな磁場ができることによりコイルの電圧が変化することを利用している。この電圧の変化は，鉄筋径とコンクリート表面から鉄筋までの距離により変化する。すなわち，電磁誘導法によりかぶりを精度よく測定するためには，鉄筋径を明確にしておく必要がある。なお，今回の測定では，鉄筋径が予め既知であったため，測定精度に及ぼす鉄筋径の影響は小さくなったものと考えられる。よって，既設で設計図書が無く鉄筋径が不明な構造物等を電磁誘導法で測定する際には，測定精度に鉄筋径の影響が生じる可能性があるため，注意が必要であると考えられる。

今回用いた電磁波反射法による測定装置による結果は，何れの結果も鉄筋径が大きくなるにしたがい，かぶりは小さくなる傾向ではあるが，その差はごく僅かであった。また，含水状態や測定機種によって，測定精度に差がみられたが，差があるものの何れの結果も同様の傾向であることから，これらの差は比誘電率等の深度校正値の設定の違いによるものと思われる。よって，電磁波反射法では，測定精度に鉄筋径は影響しないものと考えられる。

３．５　供試体による測定結果のまとめ

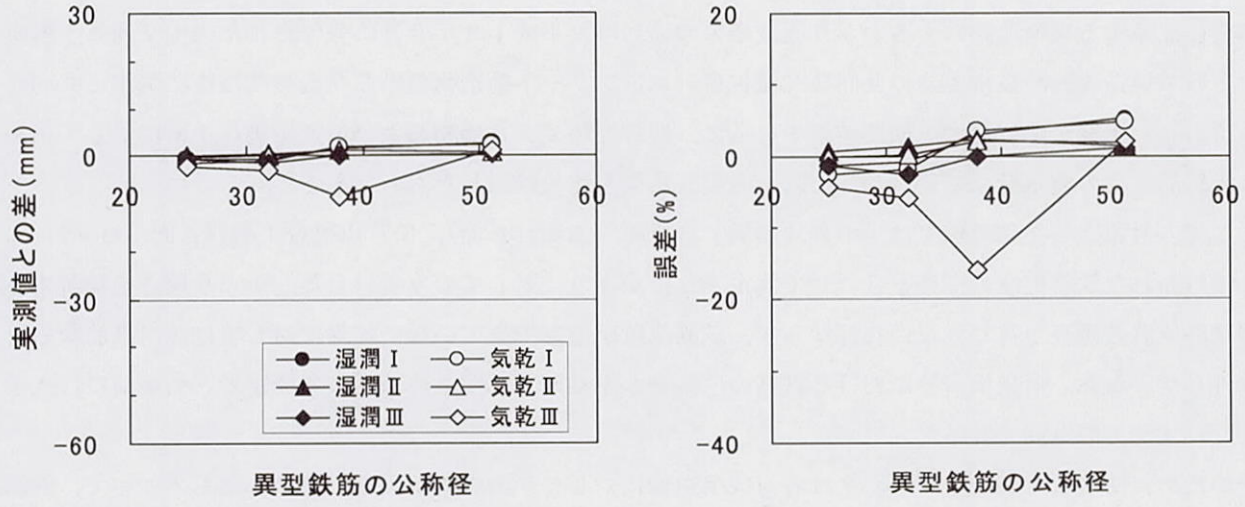
以上，今回の試験結果をまとめると以下のようである。

（１）電磁誘導法ならびに電磁波反射法，いずれの測定原理においても，精度よくかぶりを測定できる条件や適用範囲が異なることが認められた。

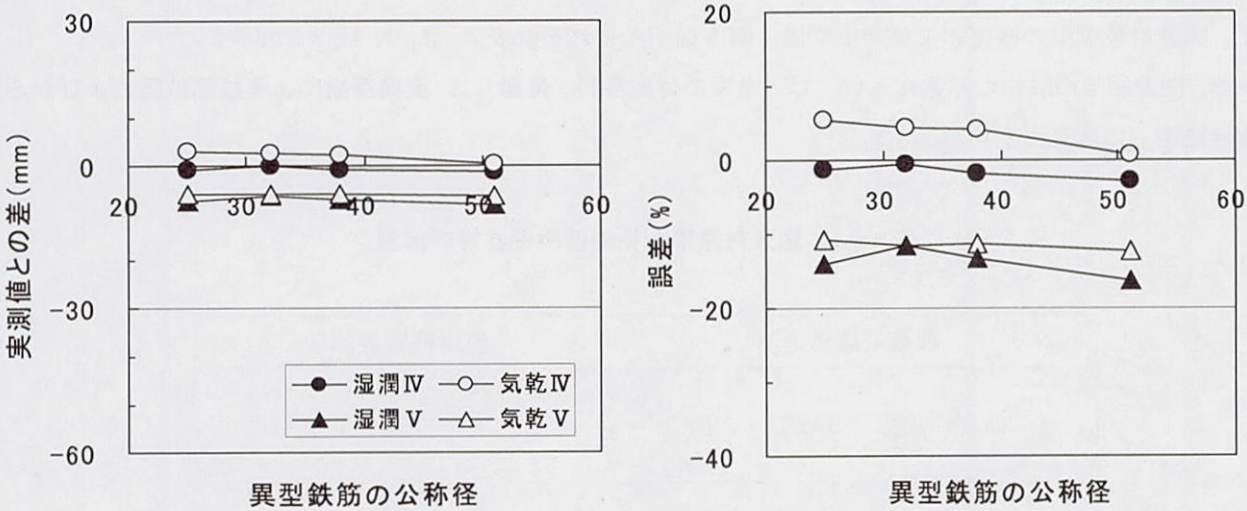
（２）電磁誘導法では，かぶり深さと測定誤差の間には関連性がある。精度よく測定可能な範囲は，許容測定誤差を 10%とした場合，100mm 程度となった。ただし，電磁誘方法の一つでパルス誘導法に基づく測定結果では，150mm 程度まで測定が可能である。また，コンクリートの含水状態の影響を受けずに測定することが可能である。鉄筋径の影響はあるが，径の情報が既知であれば，その情報を与えることで精度を向上する事ができる。

（３）電磁波反射法では，かぶり深さと誤差の間には関連性は確認できなかった。精度よく測定可能な範囲は，許容測定誤差を 10%とした場合においても，250mm 程度まで可能であると考えられる。また，測定結果に及ぼすコンクリートの含水状態の影響はあるが，適切に比誘電率等のキャリブレーションを行うことで，測定精度を確保することが可能である。鉄筋径の影響はほとんど受けないと考えられる。

以上の結果から，精度よくかぶりを測定するためには，測定する構造物の環境条件（含水状態など）や測定構造物の特徴（構造部材の違いによる設計かぶり値の違い），選定した測定方法の特徴を十分に把握した上で，かぶり測定を行うことが重要である。また，測定原理が同じ場合においても測定機器ごとの特性も異なる場合があることから，各機器の特徴も十分に把握しておく必要があると考えられる。



【電磁誘導法】



【電磁波反射法】

図－3.11　鉄筋径と測定精度の関係

４．実構造物によるかぶり測定結果の検討

4.1　実験概要

本文に記載する実構造物によるかぶり測定結果の検討は，平成１３年３月に報告された国土交通省土木研究所と日本構造物診断技術協会の共同研究報告書「コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書」―実構造物に対する摘要結果―を基に，旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚および旧芦川橋Ｇ１桁に対して実施された鉄筋位置の測定結果に着目し，これらの調査結果を比較検討したものである。

ここで，対象とした調査結果は，旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚（Ａ面，Ｂ面），旧芦川橋Ｇ１桁（Ａ面，Ｂ面），に対して行われた鉄筋位置の探査と合わせて測定されたかぶりに対してのみ着目した。かぶり厚さを検証するには鉄筋位置の探査が行われなければならず，鉄筋位置が把握できていない結果に対しては該当鉄筋なしとし除外した。なお，対象構造物における鉄筋の位置やかぶり厚さに関する情報は各測定者とも事前には入手できない状況での計測であった。

そのため、使用した調査結果データは各対象構造物に対して７調査者が実施し測定したものの中で，鉄筋位置が比較的明確に押さえられている鉄筋に着目しその鉄筋の上端，下端位置でのかぶり厚さおよび左右端のかぶり厚さの結果を抜粋し使用した。

各調査者が使用した機器や測定原理および測定方法等を比較したものを，表４－１に対応表として示した。また、調査対象橋梁の概要および架橋位置，調査箇所をそれぞれ表４－２，表４－３に示す。

なお，測定結果の詳細な結果については，巻末の付属資料「**付属－２　実構造物による鉄筋位置およびかぶり測定結果**」に取りまとめた。

表４－１　調査対象構造物の使用機器等対応表

調査対象構造物	使用機器等比較
旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面	表４－４
旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面	表４－５
旧芦川橋　Ｇ１桁　　Ａ面	表４－６
旧芦川橋　Ｇ１桁　　Ｂ面	表４－７

表4－2　調査位置の概要

旧暮坪陸橋

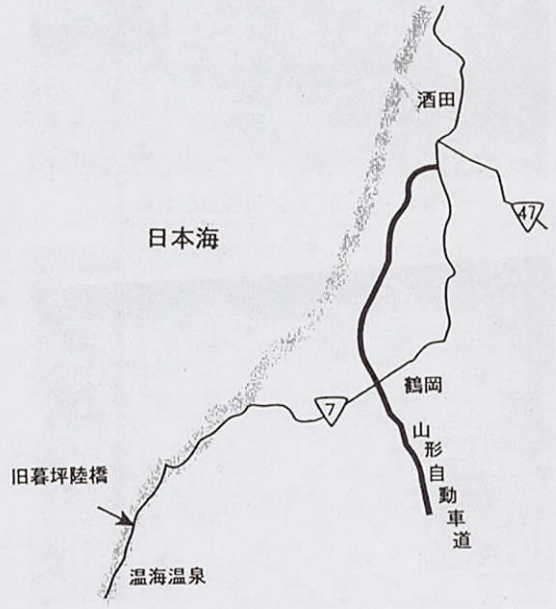
概要

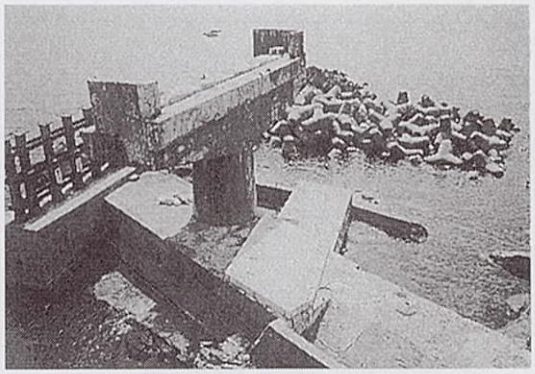
昭和40年竣工

橋長144.0m

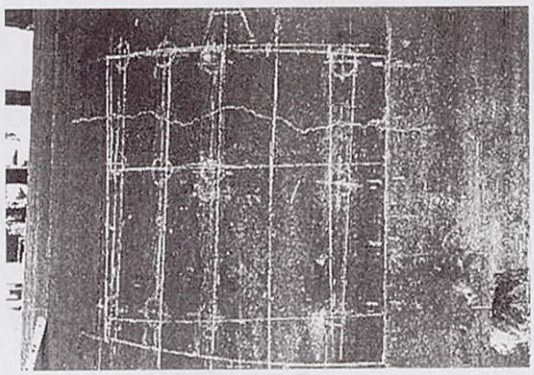
上部構造形式：５径間単純ＰＣポステンＴ桁橋

Ｐ3橋脚：円柱橋脚で海中に位置



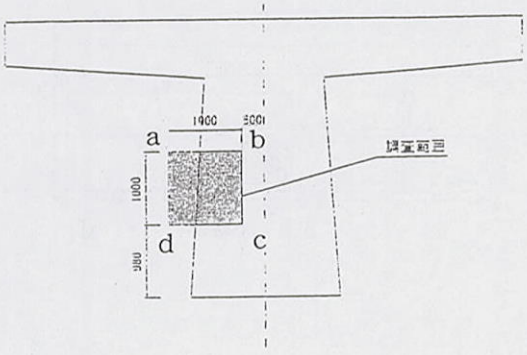


写真－4．1　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚周辺環境



写真－4．2　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚Ａ面

Ａ面（北側）



Ｂ面（南側）

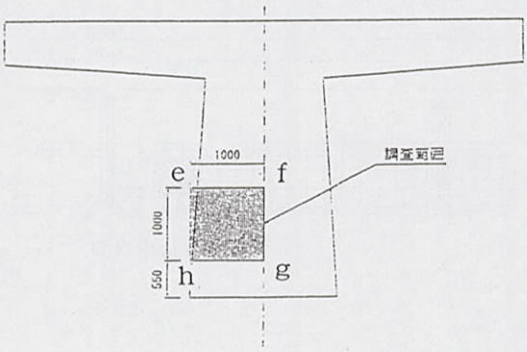


表4－3　調査位置の概要

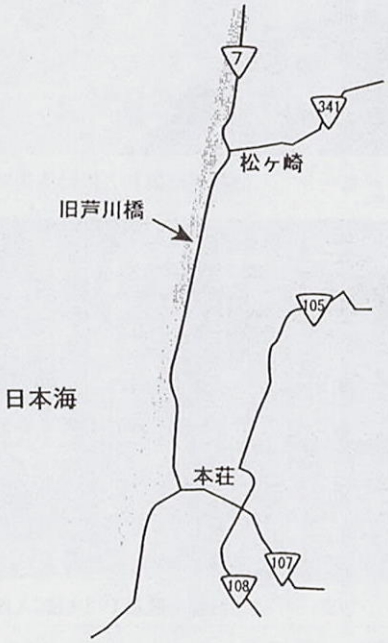
旧芦川橋

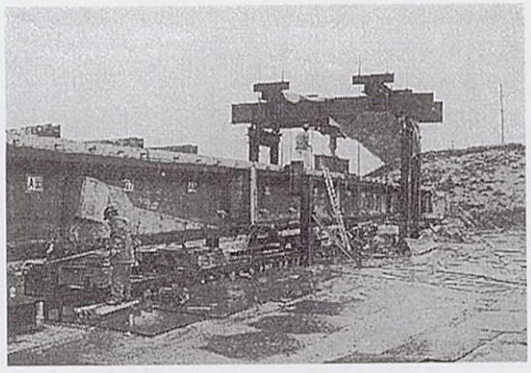
概要

昭和41年竣工

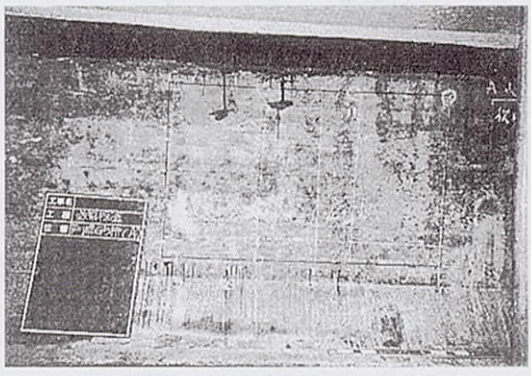
橋長35.0m

上部構造形式：ポステン単純T桁橋（５主桁）



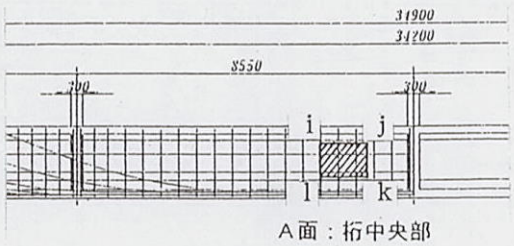


写真－4．3　旧芦川橋主桁全景



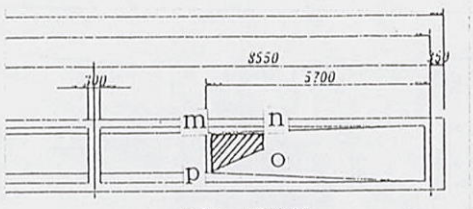
写真－4．4　旧芦川橋Ｇ１桁Ａ面

Ａ面（桁中央部）



Ａ面：桁中央部

Ｂ面（桁端部）



Ｂ面：桁端部　　秋田→

表4－4　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面

	はつり調査結果	調査者　Cg	調査者　Dk	調査者　Ｆｂ	調査者　Ｍｅ	調査者　Nd	調査者　Ｔｅ	調査者　Tk
調査対象構造物 旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面 （昭和40年竣工、山形県） 調査範囲		1m×1m（A面）	1m×1m（A面）	1m×1m（A面）	1m×1m（A面）	1m×1m（A面）	1m×1m（A面）	1m×1m（A面）
既設使用鉄筋	主筋　D32（異形鉄筋） 配力筋　φ16（丸鋼）							
使用機器		N社製 JEJ-60B	N社製 JEJ-60B	P社製 ﾌﾟﾛﾎﾒｰﾀ-4	K社製 IRS-150	N社製 JEJ-60B	N社製 NJJ-85A	A社製 ﾗｲﾄｴｽﾊﾟ-
測定原理		電磁波反射法	電磁波反射法	電磁誘導法	電磁波反射法	電磁波反射法	電磁波反射法	電磁波反射法
人数		2名	2名	2名 通常は1名で作業	1名	2名	1名	2名
所要時間		A面　8分	A面　25分	A面　12分	A面　19分	A面　24分	A面　20分	A面　7分
かぶり厚さの測定範囲		0.5～20ｃｍ	0.5～20ｃｍ	15ｃｍ	0～15ｃｍ	0.5～20ｃｍ	0.5～15ｃｍ	0～20ｃｍ
探査結果								
主筋①に着目（記号Ａ）	上　204 下　207	上　200 下　200	上　188 下　200	上　— 下　—	上　210 下　210	上　199 下　202	上　190 下　190 平均値	上　163 下　163
配力筋②に着目（記号Ｋ）	左　右 186　140	左　右 180　150	左　右 188　153	左　右 120～140　120～140 平均値　平均値	左　右 190　155	左　右 186　145	左　右 190　190 平均値　平均値	左　右 161　161
単純比較（鉄筋位置無視）	かぶり結果の差（mm）	-4 -7 -6　10	-16 -7 2　13	— — -56　-10	6 3 4　15	-5 -5 0　5	-14 -17 4　50	-41 -44 -25　21

表4－5　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面

	はつり調査結果	調査者　Cg	調査者　Dk	調査者　Ｆb	調査者　Ｍe	調査者　Nd	調査者　Ｔe	調査者　Tk
非破壊検査 調査対象構造物 旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面 （昭和41年竣工、秋田県） 調査範囲 既設使用鉄筋等	 スターラップ　φ9（丸鋼） 主筋　　φ12（丸鋼）	 1.1㎡（A面）	 1.1㎡（A面）	 1.1㎡（A面）	 1.1㎡（A面）	 1.1㎡（A面）	 1.1㎡（A面）	 1.1㎡（A面）
使用機器		N社製 JEJ-60B	N社製 JEJ-60B	P社製 ﾌﾟﾛﾎﾒｰﾀｰ4	K社製 IRS-150	N社製 JEJ-60B	N社製 NJJ-85A	A社製 ﾗｲﾄｴｽﾊﾟｰ
測定原理		電磁波反射法	電磁波反射法	電磁誘導法	電磁波反射法	電磁波反射法	電磁波反射法	電磁波反射法
人数		2名	2名	2名	1名	2名	1名	2名
所要時間		A面　55分	A面　5分	A面　15分	A面　40分	A面　35分	A面　80分	A面　60分
かぶり厚さの測定範囲		0.5～20ｃｍ	0.5～20ｃｍ	15ｃｍ	0～15ｃｍ	0.5～20ｃｍ	0.5～15ｃｍ	0～20ｃｍ
探査結果 配力筋①に着目（記号Ｂ） ＊対象鉄筋100mm以内 主筋②に着目（記号Ｉ）	 上　18 下　41 左　右 36　37	 上　16 下　35 左　右 37　40	 上　18 下　39 左　右 34　37	 上　25 下　30 左　右 34　34	 上　18 下　46 左　右 40　23	 上　18 下　41 左　右 36　37	 上　21 下　21 最小値 左　右 21　21 最小値　最小値	 上　44 下　44 左　右 34　34
単純比較（鉄筋位置無視）	かぶり結果の差（mm）	-2 -6 1　3	0 -2 -2　0	7 -11 -2　-3	0 5 4　-14	0 0 0　0	3 -20 -15　-16	26 3 -2　-3

表4－6　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面

	はつり調査結果	調査者　Cg	調査者　Dk	調査者　Fb	調査者　Me	調査者　Nd	調査者　Te	調査者　Tk
非破壊検査			余白					
調査対象構造物 旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面 （昭和40年竣工、山形県）								
調査範囲		1m×1m（B面）		1m×1m（B面）	1m×1m（B面）	1m×1m（B面）	1m×1m（B面）	1m×1m（B面）
既設使用鉄筋	主筋　D32（異形鉄筋） 配力筋　φ16（丸鋼）							
使用機器		N社製 JEJ-60B		P社製 ﾌﾟﾛﾎﾒｰﾀｰ-4	K社製 IRS-150	N社製 JEJ-60B	N社製 NJJ-85A	A社製 ﾗｲﾄｴｽﾊﾟｰ
測定原理		電磁波反射法		電磁誘導法	電磁波反射法	電磁波反射法	電磁波反射法	電磁波反射法
人数		2名		2名 通常は1名で作業	1名	2名	1名	2名
所要時間		B面　23分		B面　13分	B面　32分	B面　50分	B面　12分	B面　16分
かぶり厚さの測定範囲		0.5～20ｃｍ		15ｃｍ	0～15ｃｍ	0.5～20ｃｍ	0.5～15ｃｍ	0～20ｃｍ
探査結果								
主筋①に着目（記号Ａ） ＊対象鉄筋100mm以内	上　238 下　240	上　220 下　230		上　— 下　—	上　270 下　230	上　— 下　—	上　200 下　200	上　230 下　230
				平均値			平均値	
配力筋②に着目（記号Ｅ）	左　右 220　239	左　右 204　230		左　右 180　180	左　右 210　250	左　右 183　237	左　右 200　200	左　右 192　192
				平均値　平均値			平均値　平均値	
単純比較（鉄筋位置無視）	かぶり結果の差（mm）	-18		—	32	—	-38	-8
		-10		—	-10	—	-40	-10
		-16　-9		-40　-59	-10　11	-37　-2	-20　-39	-28　-47

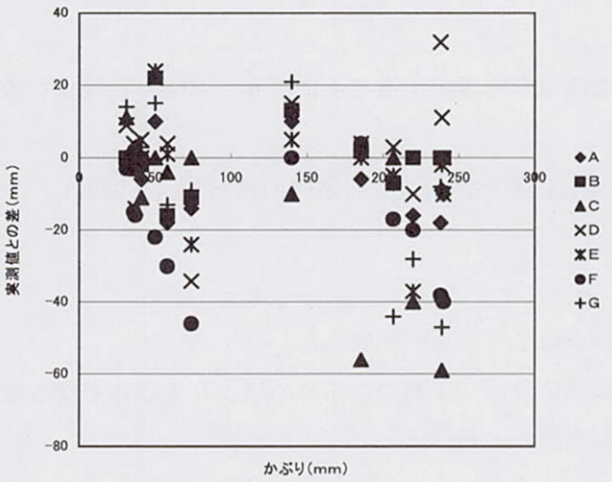
表4－7　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面

	はつり調査結果	調査者　Cg	調査者　Dk	調査者　Ｆｂ	調査者　Ｍｅ	調査者　Nd	調査者　Ｔｅ	調査者　Tk
非破壊検査 調査対象構造物 旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面 （昭和41年竣工、秋田県） 調査範囲 既設使用鉄筋等	シース　φ45 スターラップ　φ9（丸鋼） 主筋　φ12（丸鋼） ＰＣ鋼材　φ5×16本	0.75㎡（Ｂ面）	0.75㎡（Ｂ面）	0.75㎡（Ｂ面）	0.75㎡（Ｂ面）	0.75㎡（Ｂ面）	0.75㎡（Ｂ面）	0.75㎡（Ｂ面）
使用機器		Ｎ社製 JEJ-60B	Ｎ社製 JEJ-60B	Ｐ社製 ﾌﾟﾛﾎﾒｰﾀ-4	Ｋ社製 IRS-150	Ｎ社製 JEJ-60B	Ｎ社製 NJJ-85A	Ａ社製 ﾗｲﾄｴｽﾊﾟ-
測定原理		電磁波反射法	電磁波反射法	電磁誘導法	電磁波反射法	電磁波反射法	電磁波反射法	電磁波反射法
人数		2名	2名	2名	1名	2名	1名	2名
所要時間		Ｂ面　75分	Ｂ面　45分	Ｂ面　45分	Ｂ面　50分	Ｂ面　50分	Ｂ面　25分	Ｂ面　60分
かぶり厚さの測定範囲		0.5～20ｃｍ	0.5～20ｃｍ	15ｃｍ	0～15ｃｍ	0.5～20ｃｍ	0.5～15ｃｍ	0～20ｃｍ
探査結果								
ＰＣ鋼材①に着目（記号Ｉ）	上　50 下　74	上　60 下　60	上　72 下　63	上　— 下　—	上　72 下　40	上　74 下　50	上　28 下　28 平均値	上　65 下　65
主筋②に着目（記号Ｆ）	左　右 31　58	左　右 30　40	左　右 31　42	左　右 42　54	左　右 40　62	左　右 31　59	左　右 28　28 平均値　平均値	左　右 45　45
単純比較（鉄筋位置無視）	かぶり結果の差（mm）	10 -14 -1　-18	22 -11 0　-16	— — 11　-4	22 -34 9　4	24 -24 0　1	-22 -46 -3　-30	15 -9 14　-13

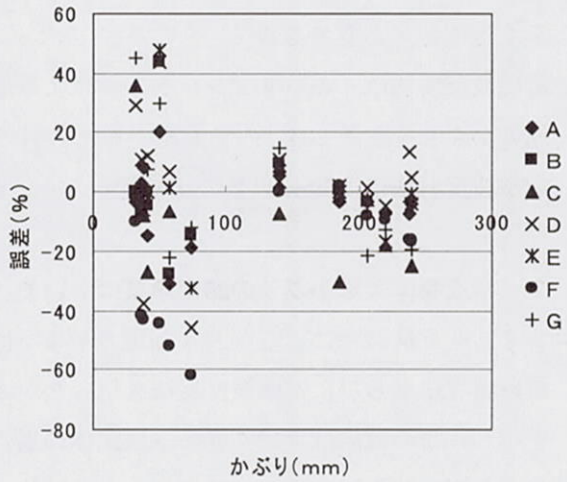
4.2　かぶり測定結果の検証

かぶりに着目し，実構造物４箇所の内で比較的明確に鉄筋位置が探査できた鉄筋の上端，下端位置および左右端の４点に着目し，７測定者の測定結果でかぶりの検証を行った。ここでは，測定数112測点のかぶり探査結果を対象とし，かぶり実測値との差の散布図（**図－4.8**）が作成できた。さらにかぶり実測値の誤差とかぶり厚さの関係をまとめたものを**図－4.9**に示す。かぶり実測値のずれ散布図は，縦軸に実測値とのずれを取り横軸にかぶりの実測調査結果を表示した。この図からは，かぶり厚さ測定の限界深さと実測値とのずれの関係が読み取れる。例えば，かぶり厚さ50mm以下では，実測値との差が比較的少ない。かぶり厚さが深くなればなるほど実測値とのずれに広がりが見られる。

ここでかぶり測定における条件は，設計図書によるかぶり厚さの情報はなく、電磁波反射法の場合，コンクリートの含水状態の違いにより影響を受ける比誘電率を設定することなく行なった。このため，かぶり実測値の誤差は，先のコンクリート供試体の場合より大きい。これらの結果は，かぶり測定において比誘電率の設定によるキャリブレーションや設計図書による情報がいかに重要であるかを示すものと思われる。



図－4.8　かぶり実測値との差の散布図



図－4.9　かぶり実測値との誤差の散布図

凡例

◆	A	調査者　Ｃｇ
■	B	調査者　Ｄｋ
▲	C	調査者　Ｆｂ
×	D	調査者　Ｍｅ
＊	E	調査者　Ｎｄ
●	F	調査者　Ｔｅ
＋	G	調査者　Ｔｋ

５．まとめ

本報告では，非破壊試験による鉄筋位置およびかぶりの測定方法として，比較的使用頻度が高く，これまでに使用実績の多い電磁誘導法と電磁波反射法を取り上げ，これらに基づいた測定方法にあたっての測定精度ならびに留意すべき点等について検討した。以下に，それぞれの検討結果をまとめ，今後検討すべき課題について記した。

５．１　コンクリート供試体によるかぶりの測定結果について

今回実施したコンクリート供試体によるかぶり測定の結果では，以下に示す事項が判明した。なお，ここでいう誤差とは，実際のかぶりの値に対する測定値のずれの大きさの割合（%）を示す。

1）電磁誘導法は，かぶりが 150mm までは誤差 20%，200mm までは誤差 25%の精度で結果が得られるが，200mm を超えると 40%以上の誤差を生じる。

2）電磁誘導法による測定値は，実際のかぶりよりも小さな値となる傾向となった。

3）電磁誘導法でかぶり測定を行う場合は，設計図書またははつり出し等により，事前に鉄筋径の情報を入手することが必要である。

4）電磁波反射法は，キャリブレーションにより適正な誘電率を設定することにより，250mm 程度までの鉄筋のかぶりを誤差 20%以内で計測することができる。

5）電磁波反射法は，50mm 以下の比較的かぶりの浅い場合に誤差が大きくなる傾向がある（±20%）。

５．２　構造物によるかぶりの測定結果について

コンクリート構造物によるかぶり測定の結果では，以下に示す事項が判明した。

1）電磁誘導法ならびに電磁波反射法を用いたかぶりの測定値は，実際のかぶりの値よりも小さくなる傾向を示し，この傾向はコンクリート供試体の場合と同様であった。

2）かぶり測定値の誤差は，コンクリート供試体の場合よりも大きくなった。この一因として，構造物のコンクリートの含水状態の違いが挙げられ，これがかぶり測定値に影響を及ぼしたと考えられる。

3）電磁波反射法によるかぶり測定値の誤差に関しては，コンクリートの含水状態の影響が懸念される。したがって，電磁波反射法によるかぶりの測定においては，誘電率の設定によるキャリブレーションを適切に実施することが重要である。

５．３　今後の課題

非破壊試験による鉄筋位置およびかぶり調査の主目的は，設計やコンクリート打設前の配筋検査では把握することが困難なかぶりに関する情報を得ることである。例えば，コンクリート打設時に，鉄筋の変形やずれが生じ，所定のかぶりが確保できていない場合や，はり下端の配筋時には，施工上，設計では考慮されていない段取筋を組み込み，そのまま施工されている場合がある。このような場合には，鉄筋位置がずれ，か

ぶり不足を生じ，耐久性に影響を及ぼすことが懸念される。非破壊試験によるかぶり調査で，このような埋設後の鉄筋のかぶり情報が得られれば，調査結果の有効性がより一層高まると考えられる。電磁誘導法あるいは電磁波反射法により求められたかぶりのデータは，設計図書と共に整理・保管し，その後の構造物の維持管理に有効に活用されることを期待したい。

なお，これらの測定方法に関する今後の課題としては，測定誤差の低減すなわちかぶり測定における精度の向上が挙げられる。特に，電磁波反射法によるかぶり測定の精度の向上のためには，誘電率などのコンクリートの電気的性質を把握することが極めて重要であり，今後，この方面での研究が望まれる。このほか，かぶり測定の迅速化や一定の時間内により広範囲な測定が可能となるような効率化が望まれる。

付属資料

付属－１　コンクリート供試体による鉄筋位置およびかぶり測定結果 41

付属－２　実構造物による鉄筋位置およびかぶり測定結果 49

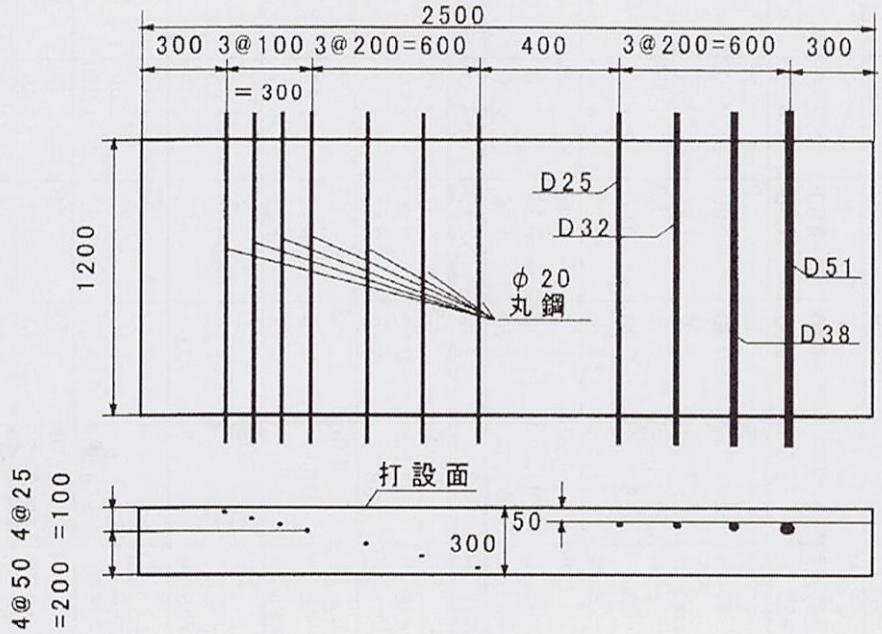
付属－３　電磁誘導法・電磁波反射法によるコンクリート構造物の鉄筋位置およびかぶり測定手順(案)　83

付属－１

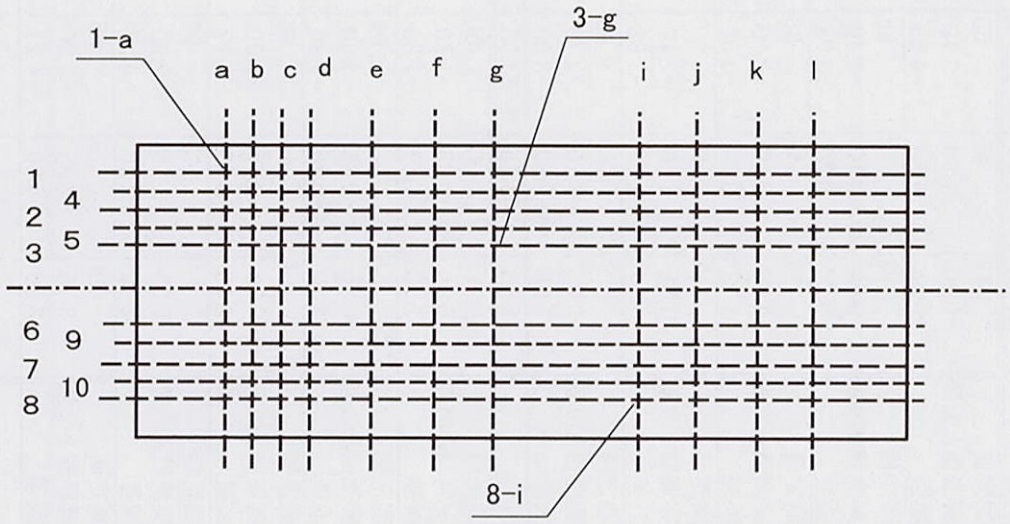
コンクリート供試体による鉄筋位置およびかぶり測定結果

付図－１　供試体の概略 43
付図－２　測定箇所および接点番号 43

付表－１　かぶりの測定結果（電磁誘導法：　Ｓ社） 44
付表－２　かぶりの測定結果（電磁誘導法：　Ｆ社） 45
付表－３　かぶりの測定結果（電磁誘導法：　Ｈ社） 46
付表－４　かぶりの測定結果（電磁波反射法：　Ｎ社） 47
付表－５　かぶりの測定結果（電磁波反射法：　Ａ社） 48



付図－１　供試体の概略



付図－２　測定箇所および接点番号

付表－1　かぶりの測定結果（電磁誘導法：S社）

誤差の判定

単位(mm) 誤差(%)

	距離	測線	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k	l
	0～600	真値	17.10	41.90	68.10	91.30	141.05	191.45	241.30	52.90	52.90	53.50	51.25
1	150	測定値	17	40	65	82	128	144	97	51	52	54	53
		実測値との差	−0.10	−1.90	−3.10	−9.30	−13.05	−47.45	−144.30	−1.90	−0.90	0.50	1.75
		誤差	−0.58	−4.53	−4.55	−10.19	−9.25	−24.78	−59.80	−3.59	−1.70	0.93	3.41
4	225	測定値	18	42	66	83	126	146	101	51	52	56	54
		実測値との差	0.90	0.10	−2.10	−8.30	−15.05	−45.45	−140.30	−1.90	−0.90	2.50	2.75
		誤差	5.26	0.24	−3.08	−9.09	−10.67	−23.74	−58.14	−3.59	−1.70	4.67	5.37
2	300	測定値	19	42	66	84	128	144	97	52	52	56	54
		実測値との差	1.90	0.10	−2.10	−7.30	−13.05	−47.45	−144.30	−0.90	−0.90	2.50	2.75
		誤差	11.11	0.24	−3.08	−8.00	−9.25	−24.78	−59.80	−1.70	−1.70	4.67	5.37
5	375	測定値	19	43	66	83	126	146	150	52	52	56	54
		実測値との差	1.90	1.10	−2.10	−8.30	−15.05	−45.45	−91.30	−0.90	−0.90	2.50	2.75
		誤差	11.11	2.63	−3.08	−9.09	−10.67	−23.74	−37.84	−1.70	−1.70	4.67	5.37
3	450	測定値	18	43	66	84	128	146	150	52	52	55	54
		実測値との差	0.90	1.10	−2.10	−7.30	−13.05	−45.45	−91.30	−0.90	−0.90	1.50	2.75
		誤差	5.26	2.63	−3.08	−8.00	−9.25	−23.74	−37.84	−1.70	−1.70	2.80	5.37
	600～1200	真値	16.65	41.35	67.90	92.05	142.35	192.75	243.15	53.10	52.70	53.35	51.25
6	750	測定値	17	42	66	84	126	146	146	53	53	56	54
		実測値との差	0.35	0.65	−1.90	−8.05	−16.35	−46.75	−97.15	−0.10	0.30	2.65	2.75
		誤差	2.10	1.57	−2.80	−8.75	−11.49	−24.25	−39.95	−0.19	0.57	4.97	5.37
9	825	測定値	17	41	66	83	126	144	136	53	52	56	54
		実測値との差	0.35	−0.35	−1.90	−9.05	−16.35	−48.75	−107.15	−0.10	−0.70	2.65	2.75
		誤差	2.10	−0.85	−2.80	−9.83	−11.49	−25.29	−44.07	−0.19	−1.33	4.97	5.37
7	900	測定値	17	41	65	83	126	144	103	52	52	55	54
		実測値との差	0.35	−0.35	−2.90	−9.05	−16.35	−48.75	−140.15	−1.10	−0.70	1.65	2.75
		誤差	2.10	−0.85	−4.27	−9.83	−11.49	−25.29	−57.64	−2.07	−1.33	3.09	5.37
10	975	測定値	17	40	65	83	126	144	99	52	52	54	54
		実測値との差	0.35	−1.35	−2.90	−9.05	−16.35	−48.75	−144.15	−1.10	−0.70	0.65	2.75
		誤差	2.10	−3.26	−4.27	−9.83	−11.49	−25.29	−59.23	−2.07	−1.33	1.22	5.37
8	1050	測定値	17	39	65	82	126	144	110	52	52	54	54
		実測値との差	0.35	−2.35	−2.90	−10.05	−16.35	−48.75	−133.15	−1.10	−0.70	0.65	2.75
		誤差	2.10	−5.68	−4.27	−10.92	−11.49	−25.29	−54.76	−2.07	−1.33	1.22	5.37
備考									網掛け： 近くに金属が存在するため測定値の信頼性が低い				

付表－2 かぶりの測定結果（電磁誘導法：F社）

誤差の判定

単位(mm) 誤差(%)

	距離	測線	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k	l
	0～600	真値	17.10	41.90	68.10	91.30	141.05	191.45	241.30	52.90	52.90	53.50	51.25
1	150	測定値	17	41	62	83	129			52	52	54	52
		実測値との差	−0.10	−0.90	−6.10	−8.30	−12.05			−0.90	−0.90	0.50	0.75
		誤差	−0.58	−2.15	−8.96	−9.09	−8.54			−1.70	−1.70	0.93	1.46
4	225	測定値	17	42	64	83	130			52	53	54	53
		実測値との差	−0.10	0.10	−4.10	−8.30	−11.05			−0.90	0.10	0.50	1.75
		誤差	−0.58	0.24	−6.02	−9.09	−7.83			−1.70	0.19	0.93	3.41
2	300	測定値	18	43	65	83	133			53	53	55	53
		実測値との差	0.90	1.10	−3.10	−8.30	−8.05			0.10	0.10	1.50	1.75
		誤差	5.26	2.63	−4.55	−9.09	−5.71			0.19	0.19	2.80	3.41
5	375	測定値	18	42	65	85	134			54	54	55	52
		実測値との差	0.90	0.10	−3.10	−6.30	−7.05			1.10	1.10	1.50	0.75
		誤差	5.26	0.24	−4.55	−6.90	−5.00			2.08	2.08	2.80	1.46
3	450	測定値	19	42	65	85	130			53	53	55	51
		実測値との差	1.90	0.10	−3.10	−6.30	−11.05			0.10	0.10	1.50	−0.25
		誤差	11.11	0.24	−4.55	−6.90	−7.83			0.19	0.19	2.80	−0.49
	600～1200	真値	16.65	41.35	67.90	92.05	142.35	192.75	243.15	53.10	52.70	53.35	51.25
6	750	測定値	17	41	64	85	131			54	54	55	52
		実測値との差	0.35	−0.35	−3.90	−7.05	−11.35			0.90	1.30	1.65	0.75
		誤差	2.10	−0.85	−5.74	−7.66	−7.97			1.69	2.47	3.09	1.46
9	825	測定値	16	40	63	86	134			54	54	55	52
		実測値との差	−0.65	−1.35	−4.90	−6.05	−8.35			0.90	1.30	1.65	0.75
		誤差	−3.90	−3.26	−7.22	−6.57	−5.87			1.69	2.47	3.09	1.46
7	900	測定値	16	40	63	86	135			53	54	55	52
		実測値との差	−0.65	−1.35	−4.90	−6.05	−7.35			−0.10	1.30	1.65	0.75
		誤差	−3.90	−3.26	−7.22	−6.57	−5.16			−0.19	2.47	3.09	1.46
10	975	測定値	16	40	63	85	134			53	53	54	52
		実測値との差	−0.65	−1.35	−4.90	−7.05	−8.35			−0.10	0.30	0.65	0.75
		誤差	−3.90	−3.26	−7.22	−7.66	−5.87			−0.19	0.57	1.22	1.46
8	1050	測定値	16	39	63	86	133			53	52	54	52
		実測値との差	−0.65	−2.35	−4.90	−6.05	−9.35			−0.10	−0.70	0.65	0.75
		誤差	−3.90	−5.68	−7.22	−6.57	−6.57			−0.19	−1.33	1.22	1.46
備考								計測不能					

付表－3 かぶりの測定結果(電磁誘導法：H社)

誤差の判定

単位(mm) 誤差(%)

	距離	測線	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k	l
	0～600	真値	17.10	41.90	68.10	91.30	141.05	191.45	241.30	52.90	52.90	53.50	51.25
1	150	測定値	17	36	67	61				49	50	49	48
		実測値との差	−0.10	−5.90	−1.10	−30.30				−3.90	−2.90	−4.50	−3.25
		誤差	−0.58	−14.08	−1.62	−33.19				−7.37	−5.48	−8.41	−6.34
4	225	測定値	17	34	61	59				54	50	55	55
		実測値との差	−0.10	−7.90	−7.10	−32.30				1.10	−2.90	1.50	3.75
		誤差	−0.58	−18.85	−10.43	−35.38				2.08	−5.48	2.80	7.32
2	300	測定値	18	37	61	55				45	48	48	52
		実測値との差	0.90	−4.90	−7.10	−36.30				−7.90	−4.90	−5.50	0.75
		誤差	5.26	−11.69	−10.43	−39.76				−14.93	−9.26	−10.28	1.46
5	375	測定値	18	38	67	71				53	49	25	54
		実測値との差	0.90	−3.90	−1.10	−20.30				0.10	−3.90	−28.50	2.75
		誤差	5.26	−9.31	−1.62	−22.23				0.19	−7.37	−53.27	5.37
3	450	測定値	18	38	62					52	52	48	53
		実測値との差	0.90	−3.90	−6.10					−0.90	−0.90	−5.50	1.75
		誤差	5.26	−9.31	−8.96					−1.70	−1.70	−10.28	3.41
	600～1200	真値	16.65	41.35	67.90	92.05	142.35	192.75	243.15	53.10	52.70	53.35	51.25
6	750	測定値	17	37	60	73				52	53		54
		実測値との差	0.35	−4.35	−7.90	−19.05				−1.10	0.30		2.75
		誤差	2.10	−10.52	−11.63	−20.70				−2.07	0.57		5.37
9	825	測定値	17	37	60					52	50		50
		実測値との差	0.35	−4.35	−7.90					−1.10	−2.70		−1.25
		誤差	2.10	−10.52	−11.63					−2.07	−5.12		−2.44
7	900	測定値	17	38	59					53	52		54
		実測値との差	0.35	−3.35	−8.90					−0.10	−0.70		2.75
		誤差	2.10	−8.10	−13.11					−0.19	−1.33		5.37
10	975	測定値	16	35	59	77				52	50		48
		実測値との差	−0.65	−6.35	−8.90	−15.05				−1.10	−2.70		−3.25
		誤差	−3.90	−15.36	−13.11	−16.35				−2.07	−5.12		−6.34
8	1050	測定値	17	37	58					53	52		53
		実測値との差	0.35	−4.35	−9.90					−0.10	−0.70		1.75
		誤差	2.10	−10.52	−14.58					−0.19	−1.33		3.41
備考							計測不能						

付表－4 かぶりの測定結果（電磁波反射法：N社）

誤差の判定　　単位(mm)　誤差(%)

	距離	測線	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k	l
	0～600	真値	17.10	41.90	68.10	91.30	141.05	191.45	241.30	52.90	52.90	53.50	51.25
1	150	測定値	15.5	44.3	65.1	95.2	139.6	195.9	247.2	54.8	54.8	54.8	52.2
		実測値との差	−1.60	2.40	−3.00	3.90	−1.45	4.45	5.90	1.90	1.90	1.30	0.95
		誤差	−9.36	5.73	−4.41	4.27	−1.03	2.32	2.45	3.59	3.59	2.43	1.85
4	225	測定値	12.8	44.3	67.6	92.7	142.1	198.4	247.2	54.8	52.2	54.8	49.6
		実測値との差	−4.30	2.40	−0.50	1.40	1.05	6.95	5.90	1.90	−0.70	1.30	−1.65
		誤差	−25.15	5.73	−0.73	1.53	0.74	3.63	2.45	3.59	−1.32	2.43	−3.22
2	300	測定値	15.5	47	67.6	95.2	142.1	200.8	247.2	57.4	57.4	57.4	52.2
		実測値との差	−1.60	5.10	−0.50	3.90	1.05	9.35	5.90	4.50	4.50	3.90	0.95
		誤差	−9.36	12.17	−0.73	4.27	0.74	4.88	2.45	8.51	8.51	7.29	1.85
5	375	測定値	12.8	47	67.6	95.2	142.1	200.8	249.6	54.8	57.4	57.4	52.2
		実測値との差	−4.30	5.10	−0.50	3.90	1.05	9.35	8.30	1.90	4.50	3.90	0.95
		誤差	−25.15	12.17	−0.73	4.27	0.74	4.88	3.44	3.59	8.51	7.29	1.85
3	450	測定値	12.8	47	67.6	95.2	142.1	200.8	242.3	57.4	54.8	54.8	52.2
		実測値との差	−4.30	5.10	−0.50	3.90	1.05	9.35	1.00	4.50	1.90	1.30	0.95
		誤差	−25.15	12.17	−0.73	4.27	0.74	4.88	0.41	8.51	3.59	2.43	1.85
	600～1200	真値	16.65	41.35	67.90	92.05	142.35	192.75	243.15	53.10	52.70	53.35	51.25
6	750	測定値	13	42.2	61.4	89	138.8	185.8	226.1	51.9	51.9	51.9	49.5
		実測値との差	−3.65	0.85	−6.50	−3.05	−3.55	−6.95	−17.05	−1.20	−0.80	−1.45	−1.75
		誤差	−21.92	2.06	−9.57	−3.31	−2.49	−3.61	−7.01	−2.26	−1.52	−2.72	−3.41
9	825	測定値	10.7	42.2	61.4	89	141	185.8	230.6	51.9	51.9	54.3	49.5
		実測値との差	−5.95	0.85	−6.50	−3.05	−1.35	−6.95	−12.55	−1.20	−0.80	0.95	−1.75
		誤差	−35.74	2.06	−9.57	−3.31	−0.95	−3.61	−5.16	−2.26	−1.52	1.78	−3.41
7	900	測定値	10.7	44.7	63.7	89	141	183.6	228.3	54.3	54.3	51.9	51.9
		実測値との差	−5.95	3.35	−4.20	−3.05	−1.35	−9.15	−14.85	1.20	1.60	−1.45	0.65
		誤差	−35.74	8.10	−6.19	−3.31	−0.95	−4.75	−6.11	2.26	3.04	−2.72	1.27
10	975	測定値	10.7	44.7	63.7	89	141	185.8	232.8	51.9	51.9	51.9	49.5
		実測値との差	−5.95	3.35	−4.20	−3.05	−1.35	−6.95	−10.35	−1.20	−0.80	−1.45	−1.75
		誤差	−35.74	8.10	−6.19	−3.31	−0.95	−3.61	−4.26	−2.26	−1.52	−2.72	−3.41
8	1050	測定値	13	44.7	66	89	141	183.6	235	51.9	51.9	51.9	49
		実測値との差	−3.65	3.35	−1.90	−3.05	−1.35	−9.15	−8.15	−1.20	−0.80	−1.45	−2.25
		誤差	−21.92	8.10	−2.80	−3.31	−0.95	−4.75	−3.35	−2.26	−1.52	−2.72	−4.39

備考	
1～5行（乾燥部）は，誘電率 ε =6.7で校正 6～10行（湿潤部）は，誘電率 ε =8.0で校正	ハンディサーチからPCへのデータの転送時間：0.5H PC上でのかぶり測定値の校正：1.5H

付表－5　かぶりの測定結果（電磁波反射法：A社）

誤差の判定

単位(mm)　誤差(%)

	距離	測線	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k	l
	0～600	真値	17.10	41.90	68.10	91.30	141.05	191.45	241.30	52.90	52.90	53.50	51.25
1	150	測定値	15.6	34.4	59.3	89	149.9	209.2	253	43.7	43.7	45.3	40.6
		実測値との差	−1.50	−7.50	−8.80	−2.30	8.85	17.75	11.70	−9.20	−9.20	−8.20	−10.65
		誤差	−8.77	−17.90	−12.92	−2.52	6.27	9.27	4.85	−17.39	−17.39	−15.33	−20.78
4	225	測定値	15.6	39	65.6	89	160.8	218.6	0	50	46.8	50	46.8
		実測値との差	−1.50	−2.90	−2.50	−2.30	19.75	27.15	0.00	−2.90	−6.10	−3.50	−4.45
		誤差	−8.77	−6.92	−3.67	−2.52	14.00	14.18	0.00	−5.48	−11.53	−6.54	−8.68
2	300	測定値	15.6	37.5	62.5	92.1	153	220.2	256.1	45.3	43.7	48.4	45.3
		実測値との差	−1.50	−4.40	−5.60	0.80	11.95	28.75	14.80	−7.60	−9.20	−5.10	−5.95
		誤差	−8.77	−10.50	−8.22	0.88	8.47	15.02	6.13	−14.37	−17.39	−9.53	−11.61
5	375	測定値	15.6	40.6	64	103.1	153	218.6	0	48.4	50	48.4	43.7
		実測値との差	−1.50	−1.30	−4.10	11.80	11.95	27.15	0.00	−4.50	−2.90	−5.10	−7.55
		誤差	−8.77	−3.10	−6.02	12.92	8.47	14.18	0.00	−8.51	−5.48	−9.53	−14.73
3	450	測定値	20.3	39	56.2	95.2	162.4	224.8	246.7	48.4	50	45.3	48.4
		実測値との差	3.20	−2.90	−11.90	3.90	21.35	33.35	5.40	−4.50	−2.90	−8.20	−2.85
		誤差	18.71	−6.92	−17.47	4.27	15.14	17.42	2.24	−8.51	−5.48	−15.33	−5.56
	600～1200	真値	16.65	41.35	67.90	92.05	142.35	192.75	243.15	53.10	52.70	53.35	51.25
6	750	測定値	15.6	36.9	63.9	93.7	144.8	197.3	0	36.9	42.6	45.4	39.7
		実測値との差	−1.05	−4.45	−4.00	1.65	2.45	4.55	0.00	−16.20	−10.10	−7.95	−11.55
		誤差	−6.31	−10.76	−5.89	1.79	1.72	2.36	0.00	−30.51	−19.17	−14.90	−22.54
9	825	測定値	18.5	25.6	62.5	90.8	144.8	204.4	239.9	48.3	48.3	48.3	46.8
		実測値との差	1.85	−15.75	−5.40	−1.25	2.45	11.65	−3.25	−4.80	−4.40	−5.05	−4.45
		誤差	11.11	−38.09	−7.95	−1.36	1.72	6.04	−1.34	−9.04	−8.35	−9.47	−8.68
7	900	測定値	15.6	38.3	58.2	96.5	143.4	204.4	237.1	46.8	44	42.6	41.2
		実測値との差	−1.05	−3.05	−9.70	4.45	1.05	11.65	−6.05	−6.30	−8.70	−10.75	−10.05
		誤差	−6.31	−7.38	−14.29	4.83	0.74	6.04	−2.49	−11.86	−16.51	−20.15	−19.61
10	975	測定値	17	38.3	52.6	100.8	146.2	204.4	242.7	49.7	48.3	46.8	41.2
		実測値との差	0.35	−3.05	−15.30	8.75	3.85	11.65	−0.45	−3.40	−4.40	−6.55	−10.05
		誤差	2.10	−7.38	−22.53	9.51	2.70	6.04	−0.19	−6.40	−8.35	−12.28	−19.61
8	1050	測定値	17	42.6	59.6	93.7	149	204.4	235.6	46.8	49.7	48.3	45.4
		実測値との差	0.35	1.25	−8.30	1.65	6.65	11.65	−7.55	−6.30	−3.00	−5.05	−5.85
		誤差	2.10	3.02	−12.22	1.79	4.67	6.04	−3.11	−11.86	−5.69	−9.47	−11.41
備考													

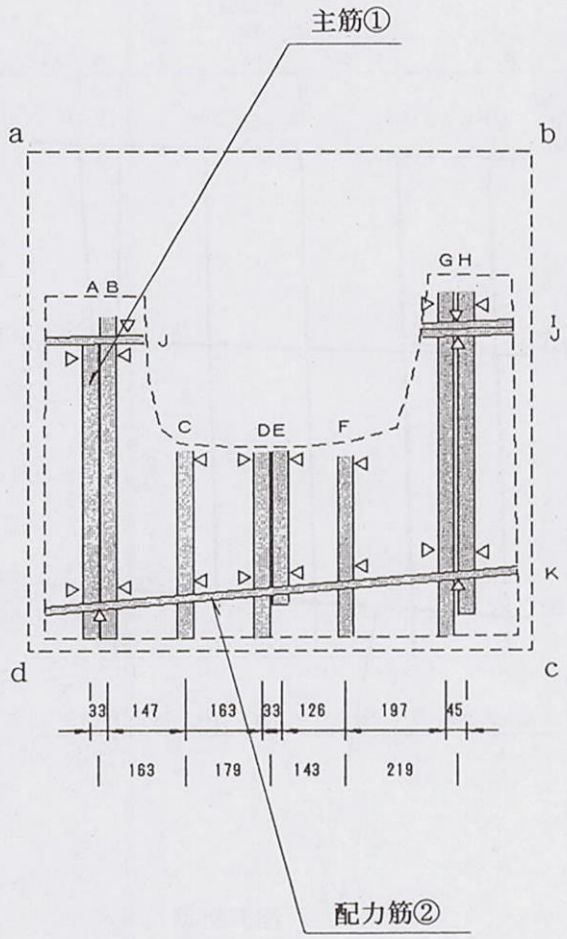
付属－２

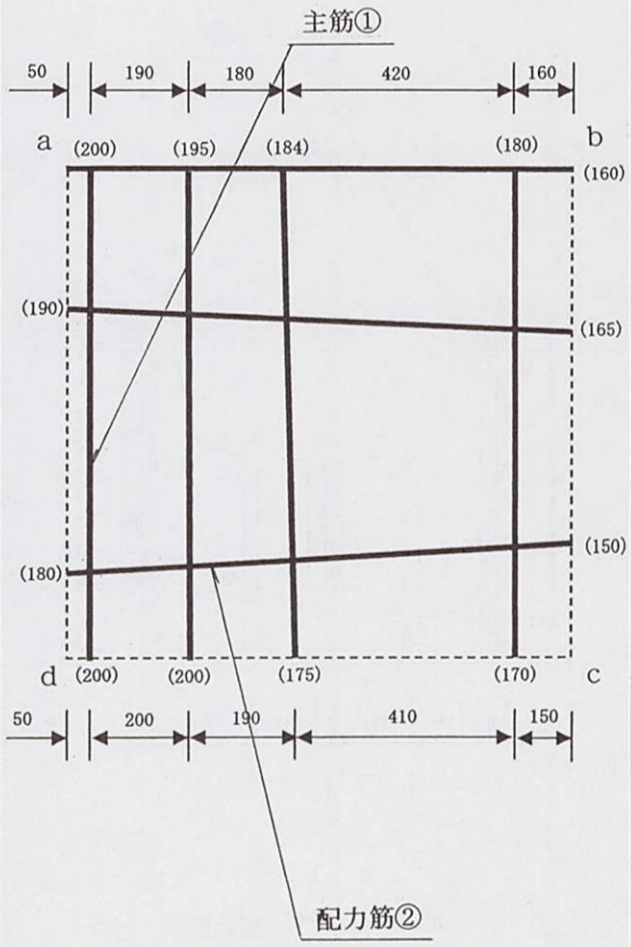
実構造物による鉄筋位置およびかぶり測定結果

付図－３　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面（比較図，調査者Ｃｇ）……51
付図－４　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面（比較図，調査者Ｄｋ）……52
付図－５　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面（比較図，調査者Ｆｂ）……53
付図－６　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面（比較図，調査者Ｍｅ）……54
付図－７　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面（比較図，調査者Ｎｄ）……55
付図－８　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面（比較図，調査者Ｔｅ）……56
付図－９　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面（比較図，調査者Ｔｋ）……57
付図－10　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面（比較図，調査者Ｃｇ）……58
付図－11　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面（比較図，調査者Ｆｂ）……59
付図－12　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面（比較図，調査者Ｍｅ）……60
付図－13　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面（比較図，調査者Ｎｄ）……61
付図－14　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面（比較図，調査者Ｔｅ）……62
付図－15　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面（比較図，調査者Ｔｋ）……63
付図－16　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面（比較図，調査者Ｃｇ）……64
付図－17　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面（比較図，調査者Ｄｋ）……65
付図－18　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面（比較図，調査者Ｆｂ）……66
付図－19　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面（比較図，調査者Ｍｅ）……67
付図－20　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面（比較図，調査者Ｎｄ）……68
付図－21　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面（比較図，調査者Ｔｅ）……69
付図－22　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面（比較図，調査者Ｔｋ）……70
付図－23　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面（比較図，調査者Ｃｇ）……71
付図－24　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面（比較図，調査者Ｄｋ）……72
付図－25　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面（比較図，調査者Ｆｂ）……73
付図－26　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面（比較図，調査者Ｍｅ）……74
付図－27　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面（比較図，調査者Ｎｄ）……75
付図－28　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面（比較図，調査者Ｔｅ）……76
付図－29　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面（比較図，調査者Ｔｋ）……77
付表－６　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面……78
付表－７　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面……79
付表－８　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面……80
付表－９　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面……81
付表－10　調査誤差総括表……82

はつり調査結果

調査者　Cg





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	204	207
		左	右
配力筋（丸鋼）	K	186	145

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

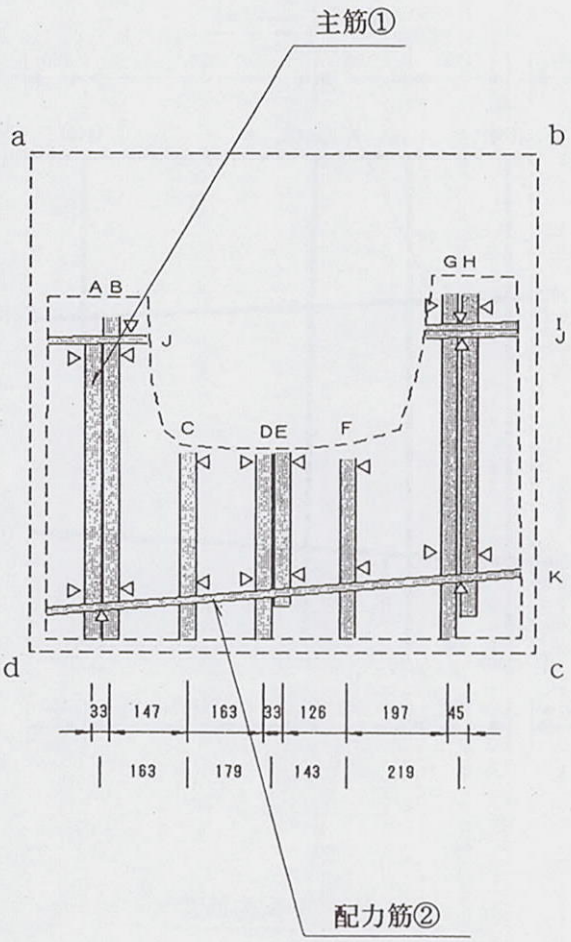
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	200	200
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	180	150

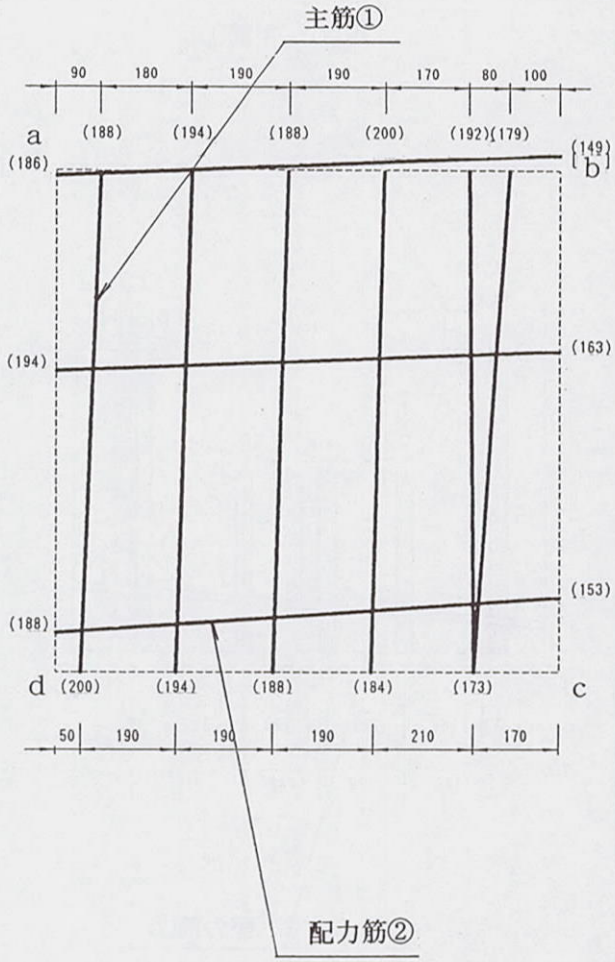
凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－3　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Dk





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	204	207
		左	右
配力筋（丸鋼）	K	186	145

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

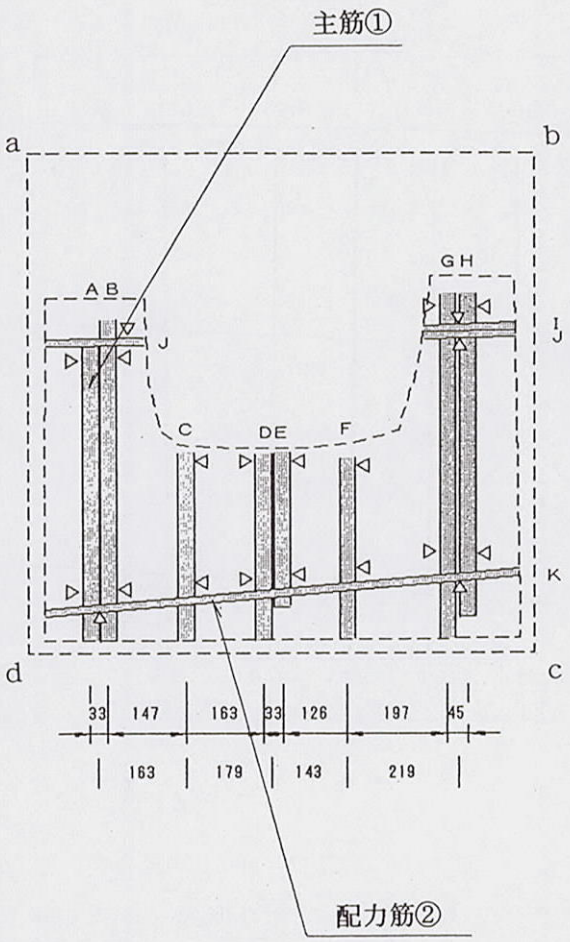
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	188	200
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	188	153

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
━━━　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－4　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

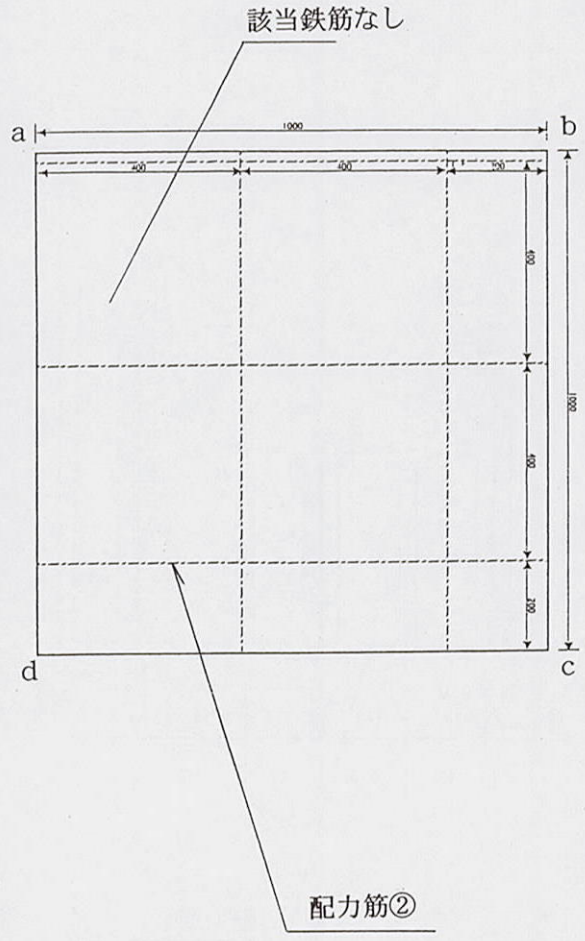
調査者　Ｆｂ



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	204	207
		左	右
配力筋（丸鋼）	K	186	145

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

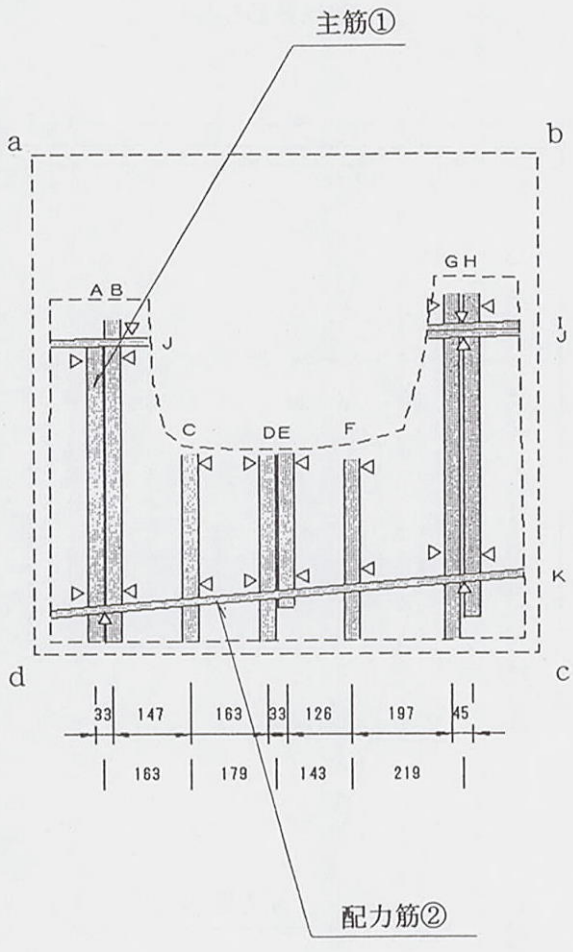
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	－	－
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	120～140	120～140

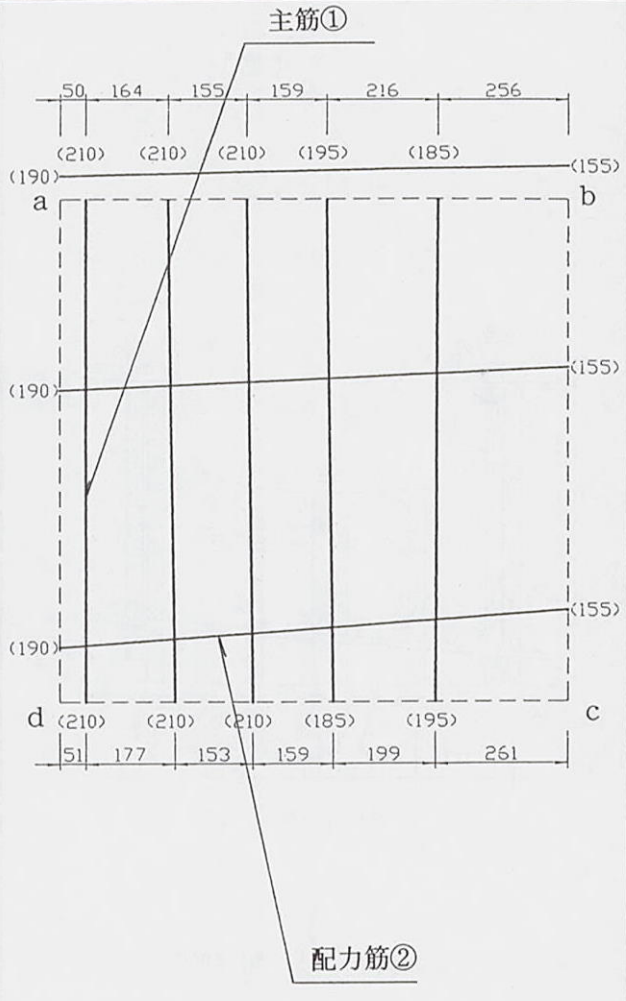
凡例
——　：鉄筋探査範囲
－ － －　：鉄筋
数値　：かぶり厚さ

付図－5　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Ｍｅ





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	204	207
		左	右
配力筋（丸鋼）	K	186	145

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

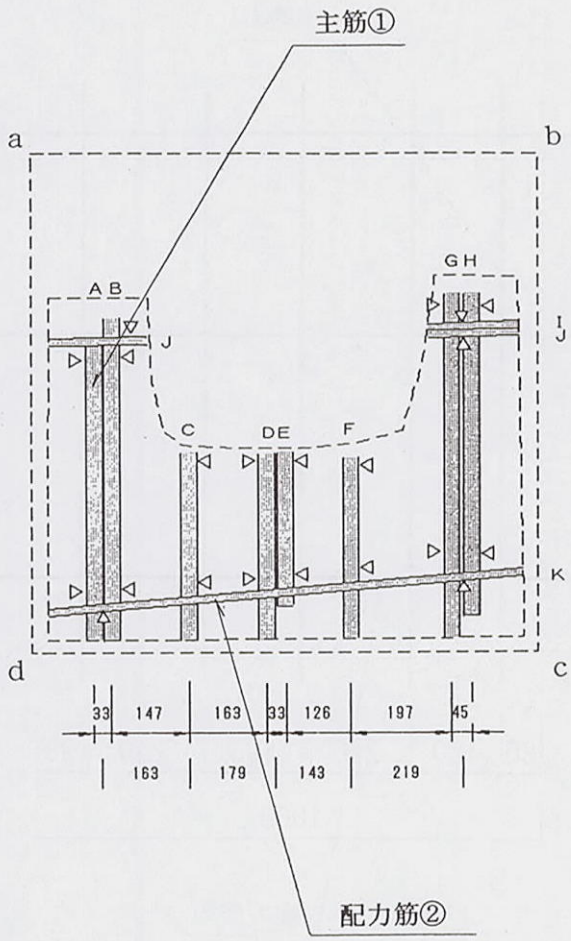
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	210	210
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	190	155

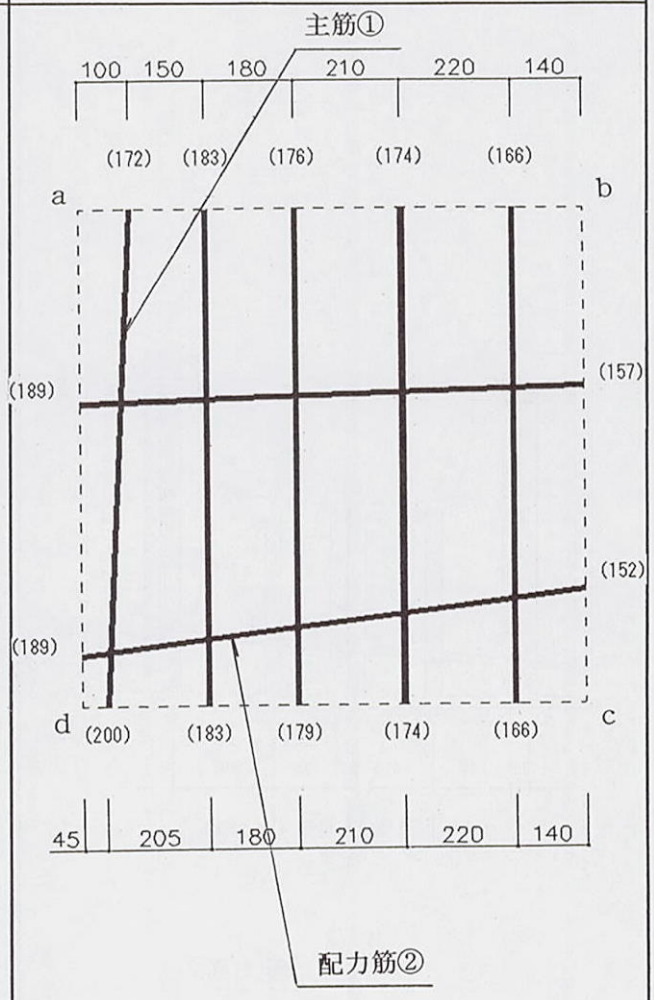
凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
■　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－6　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Nd





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	204	207
		左	右
配力筋（丸鋼）	K	186	145

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

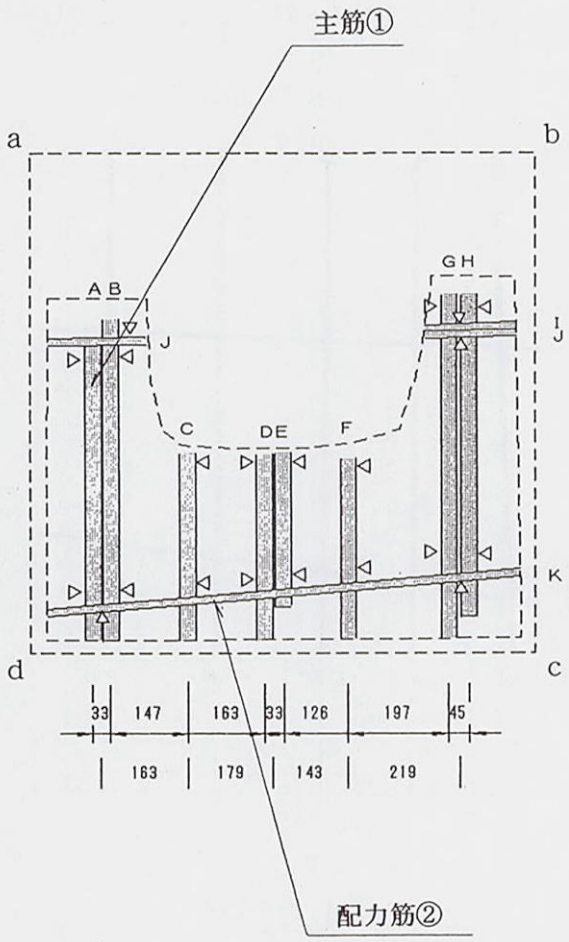
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	172	200
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	189	152

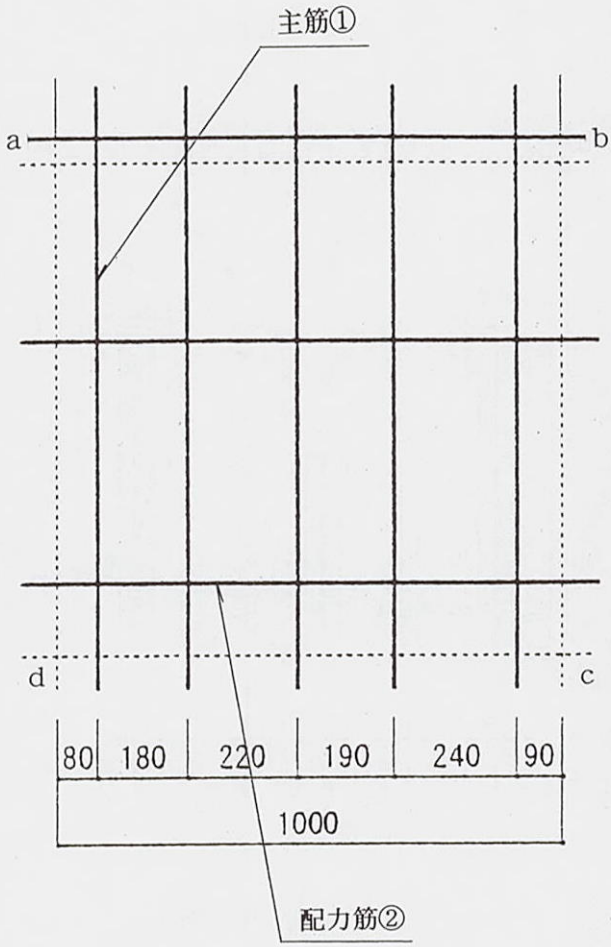
凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－7　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Ｔｅ





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	204	207
		左	右
配力筋（丸鋼）	K	186	145

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

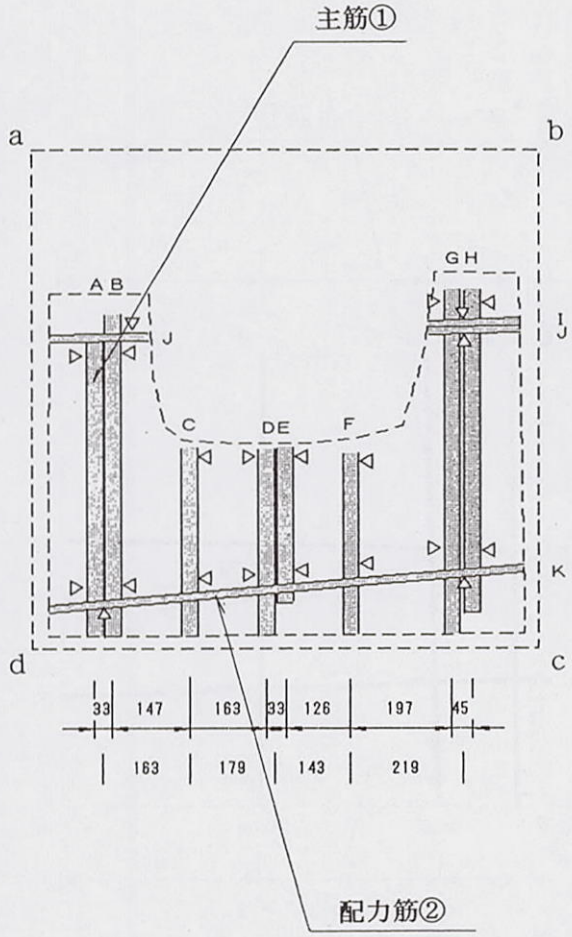
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	190	190
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	190	190

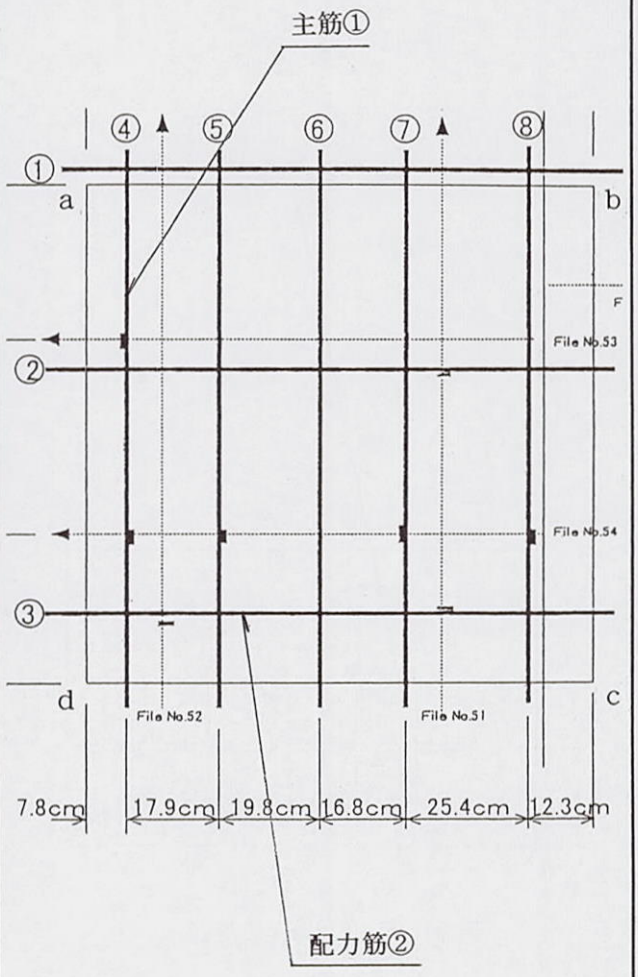
凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋

付図－8　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Tk





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	204	207
		左	右
配力筋（丸鋼）	K	186	145

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

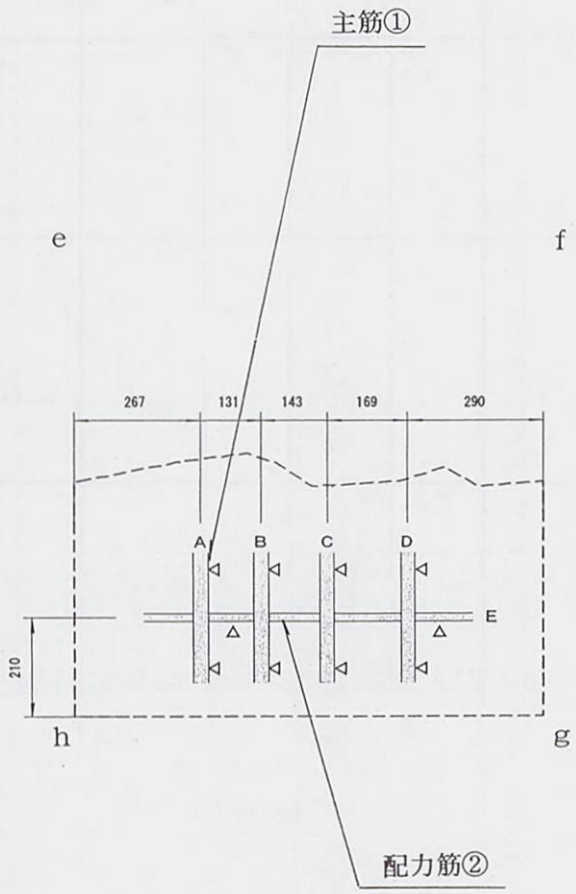
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	163	163
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	161	161

凡例
：鉄筋探査範囲
：鉄筋

付図－9　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

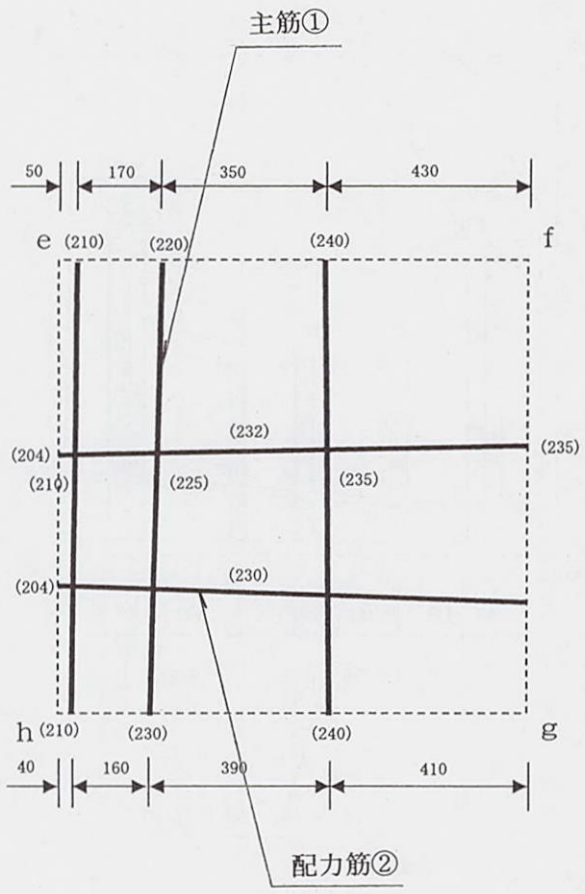
調査者　Cg



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	238	240
		左	右
配力筋（丸鋼）	E	220	239

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



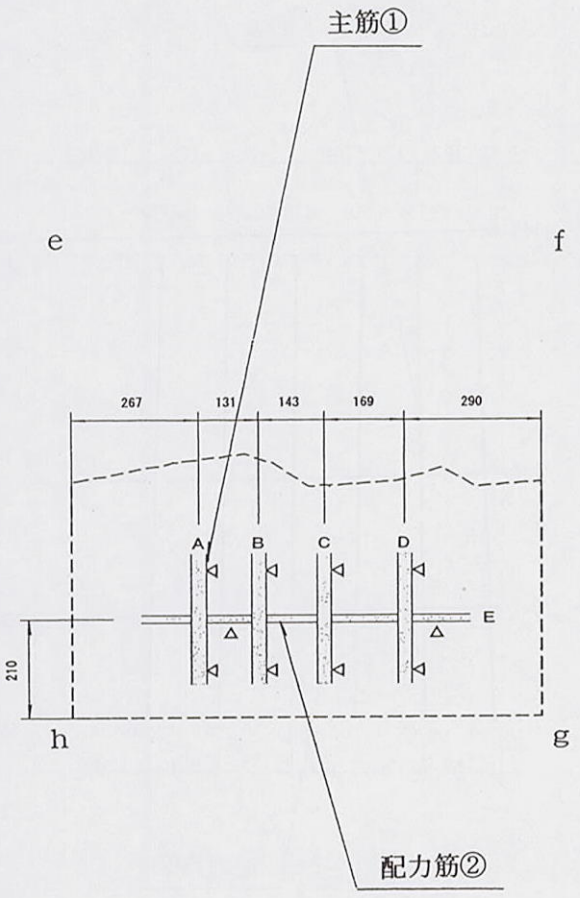
鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	210	210
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	204	230

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－10　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面　（比較図）

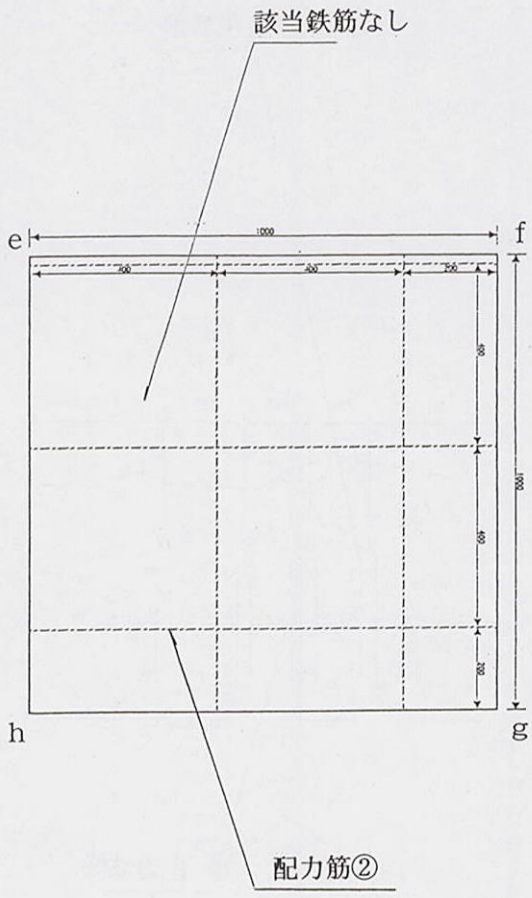
はつり調査結果	調査者　Ｆｂ



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	238	240
		左	右
配力筋（丸鋼）	E	220	239

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

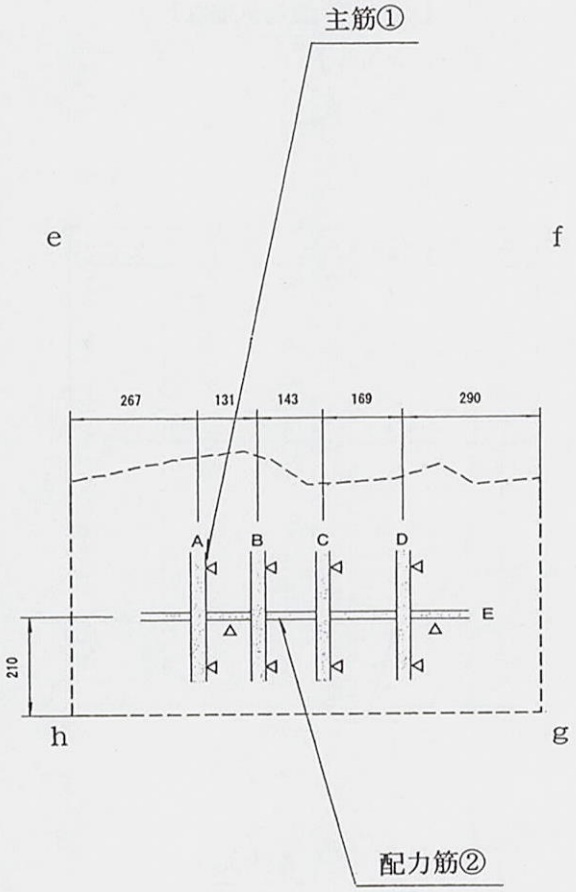
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	－	－
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	180	180

凡例
：鉄筋探査範囲
：鉄筋
数値　：かぶり厚さ

付図－11　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面　（比較図）

はつり調査結果

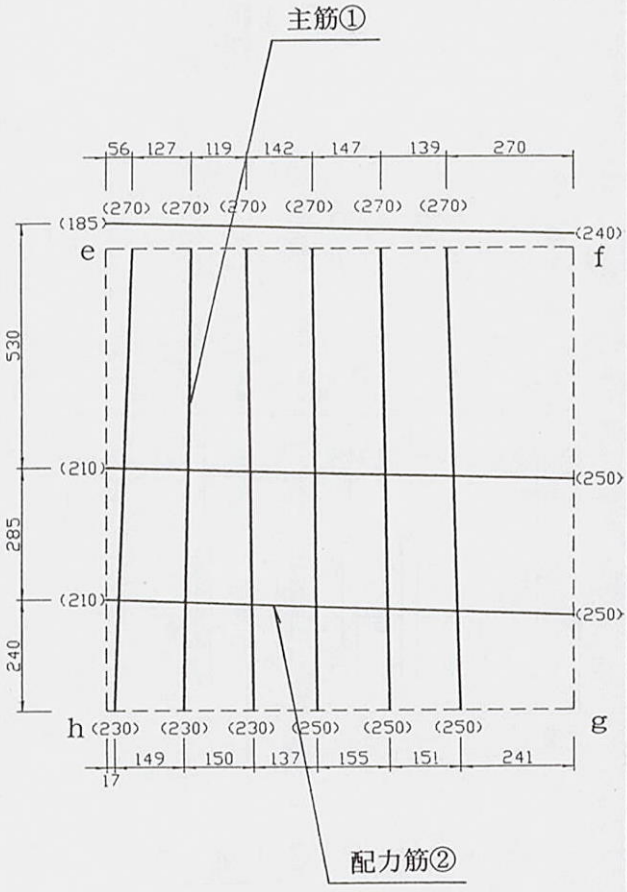
調査者　Ｍｅ



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	238	240
		左	右
配力筋（丸鋼）	E	220	239

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



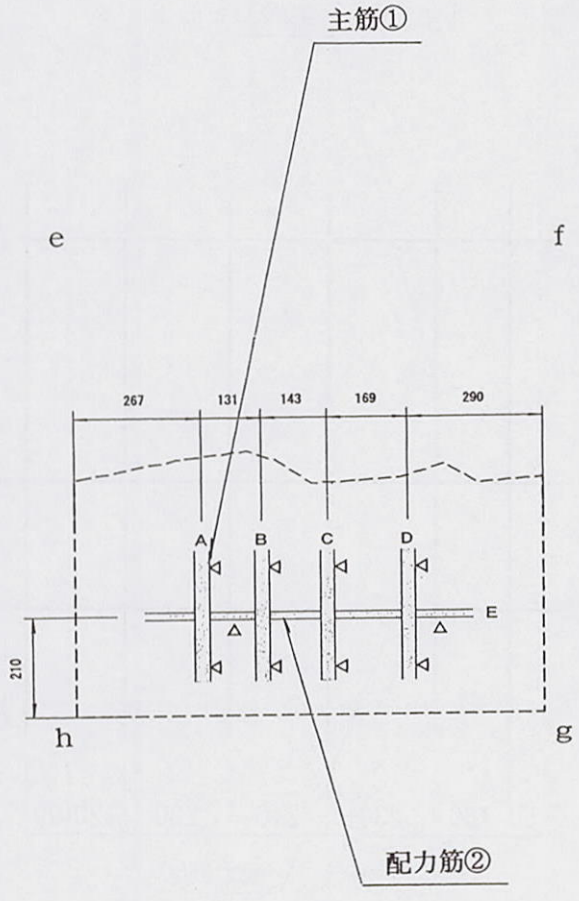
鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	270	230
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	210	250

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－12　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面　（比較図）

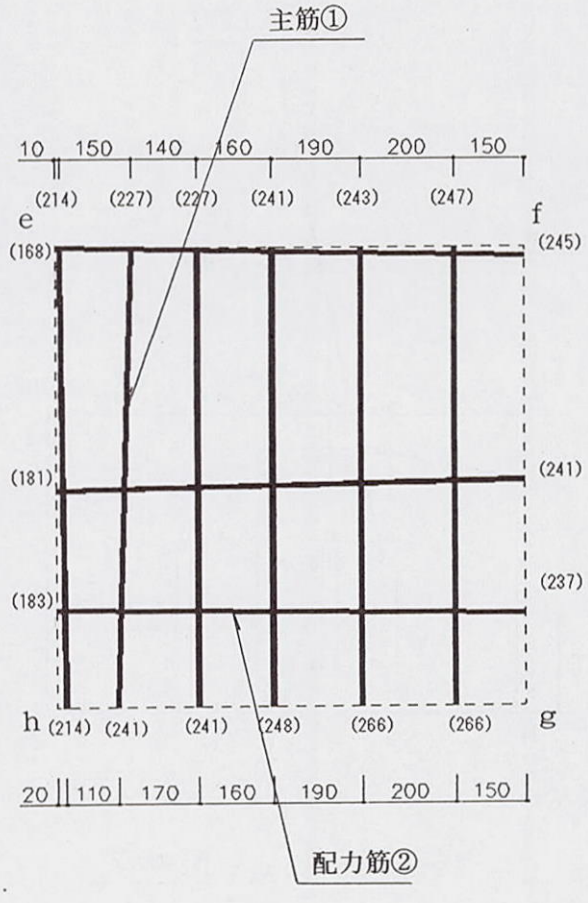
はつり調査結果	調査者　Nd



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	238	240
		左	右
配力筋（丸鋼）	E	220	239

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

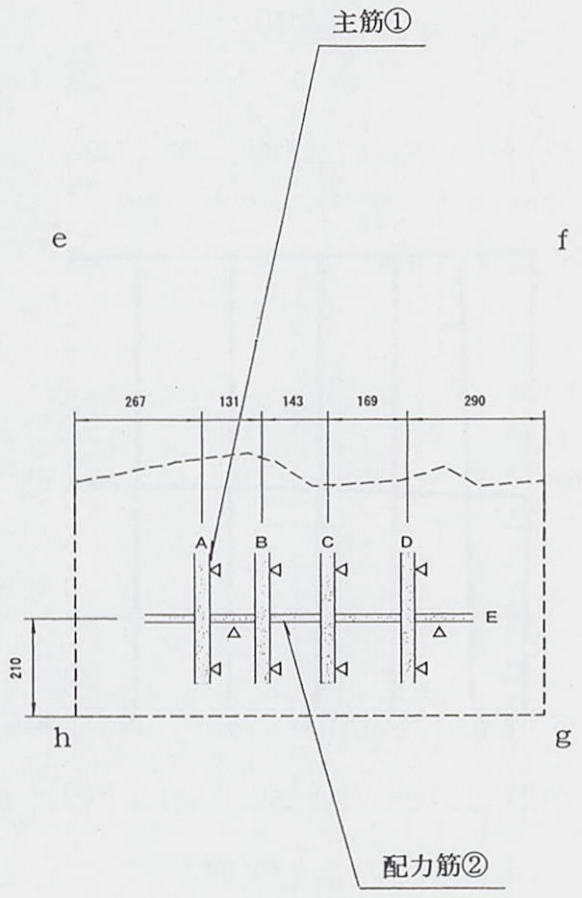
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	227	241
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	183	237

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－13　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Ｔｅ

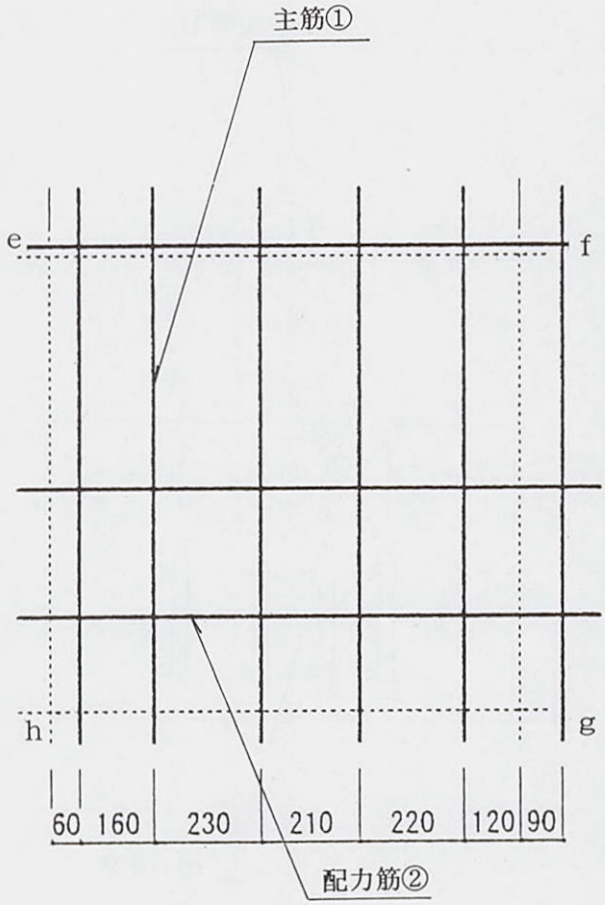


鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	238	240
		左	右
配力筋（丸鋼）	E	220	239

凡例

△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	200	200
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	200	200

凡例

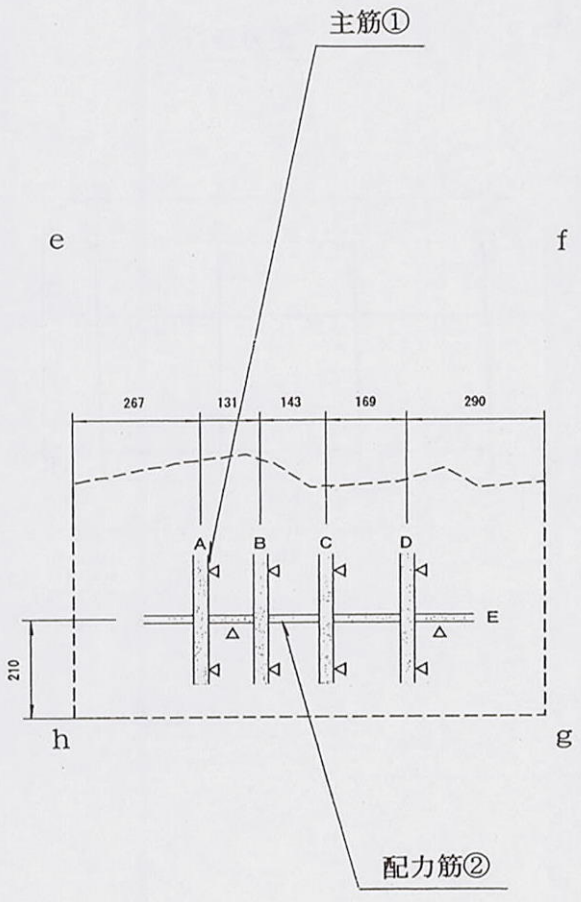
－－－　：鉄筋探査範囲

━━　：鉄筋

付図－14　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面　（比較図）

はつり調査結果

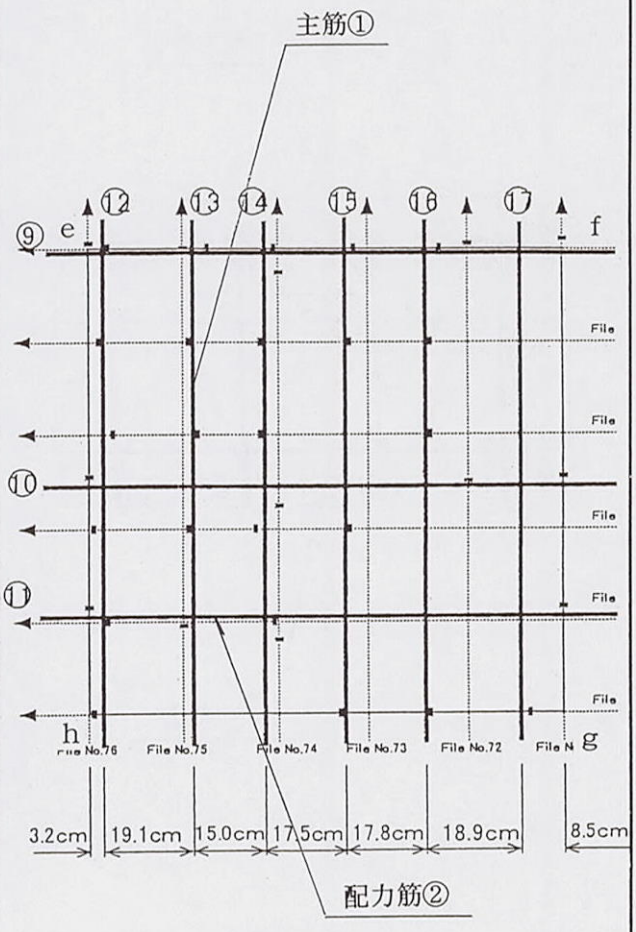
調査者　Tk



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	A	238	240
		左	右
配力筋（丸鋼）	E	220	239

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

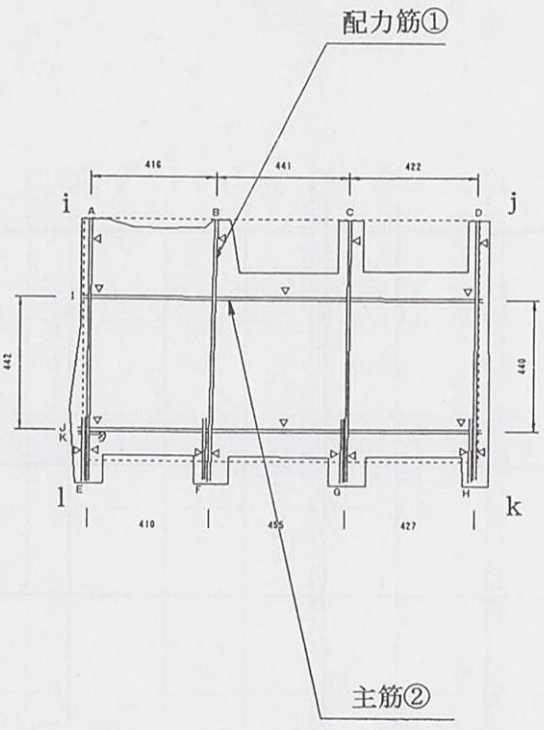
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
主筋（異形）	主筋①	232	232
		左	右
配力筋（丸鋼）	配力筋①	192	192

凡例
：鉄筋探査範囲
：鉄筋

付図－15　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Cg

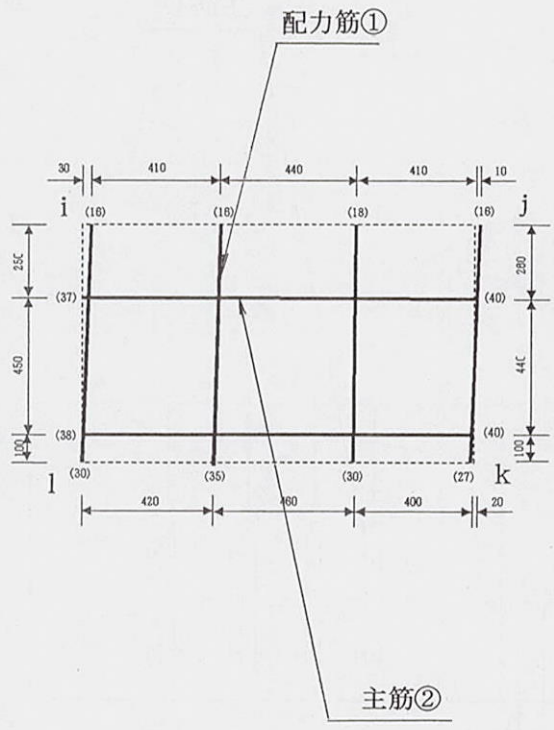


鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	B	18	41
		左	右
主筋（丸鋼）	I	36	37

凡例

△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	配力筋①	16	35
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	37	40

凡例

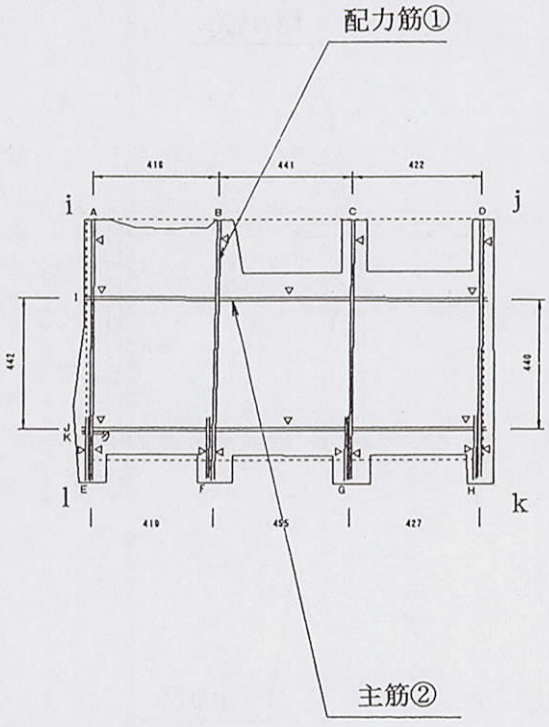
－－－　：鉄筋探査範囲

▬▬　：鉄筋

（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－16　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

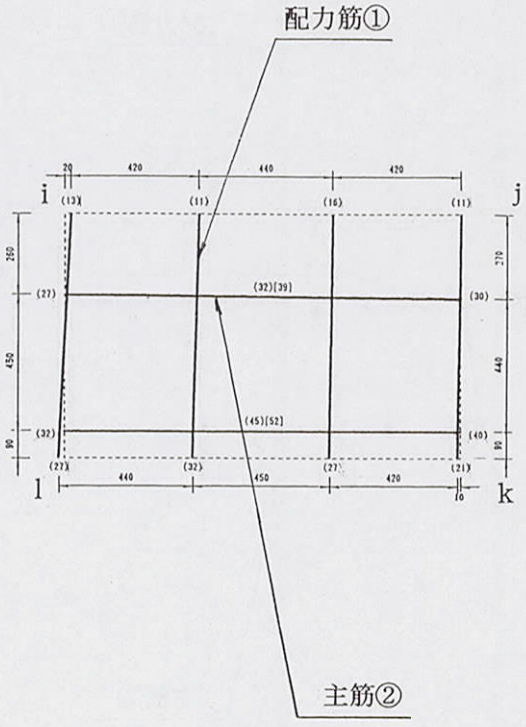


鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	B	18	41
		左	右
主筋（丸鋼）	I	36	37

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

調査者　Dk



鉄筋のかぶり厚さ

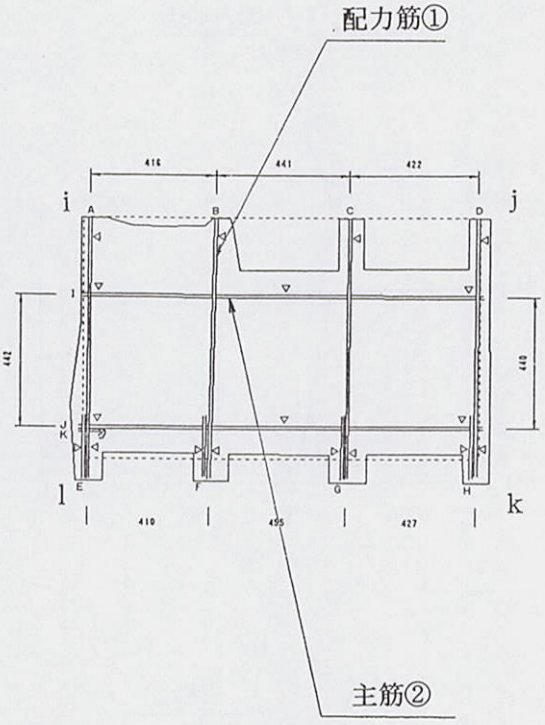
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	配力筋①	11	32
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	27	30

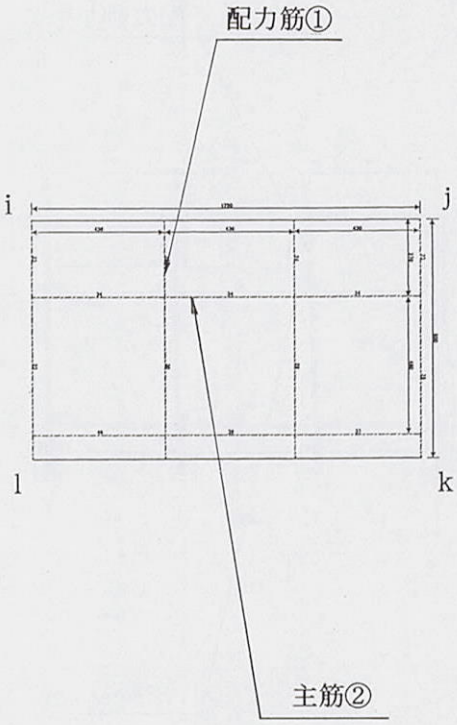
凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－17　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Ｆｂ





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	B	18	41
		左	右
主筋（丸鋼）	I	36	37

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

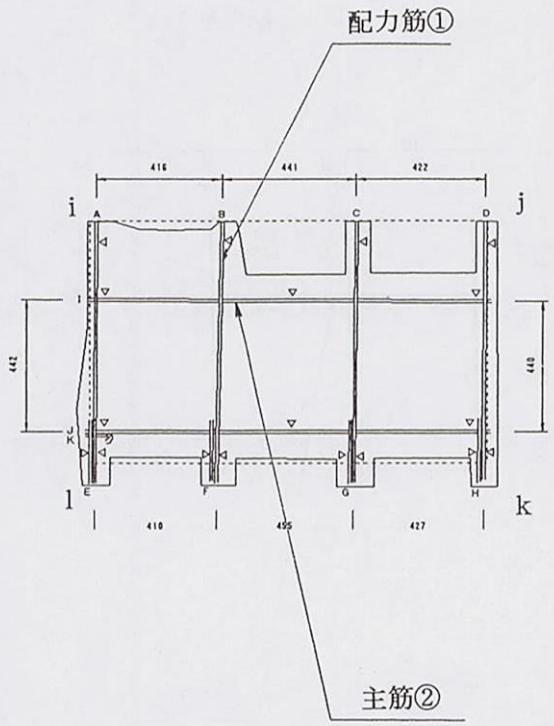
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	配力筋①	25	30
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	34	34

凡例
——　：鉄筋探査範囲
－ － －　：鉄筋
数値　：かぶり厚さ

付図－18　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

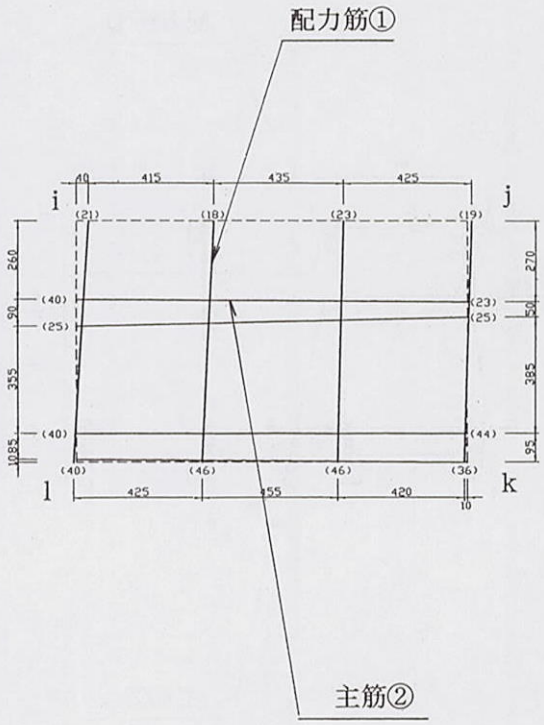
調査者　Ｍｅ



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	B	18	41
		左	右
主筋（丸鋼）	I	36	37

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

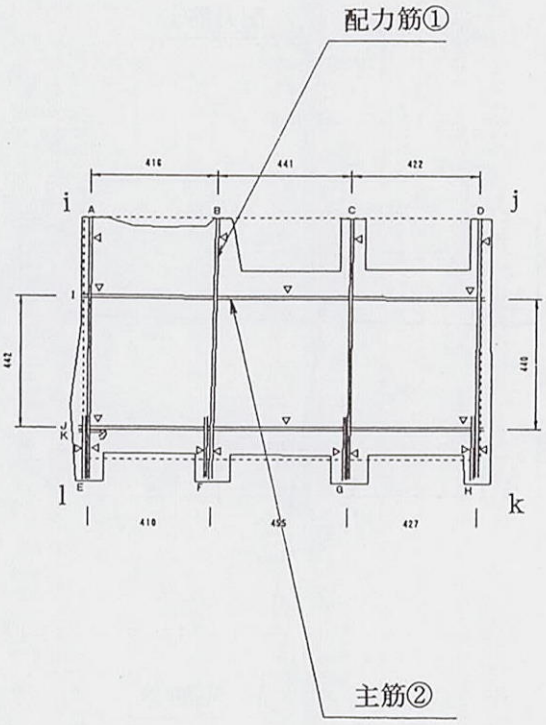
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	配力筋①	18	46
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	40	23

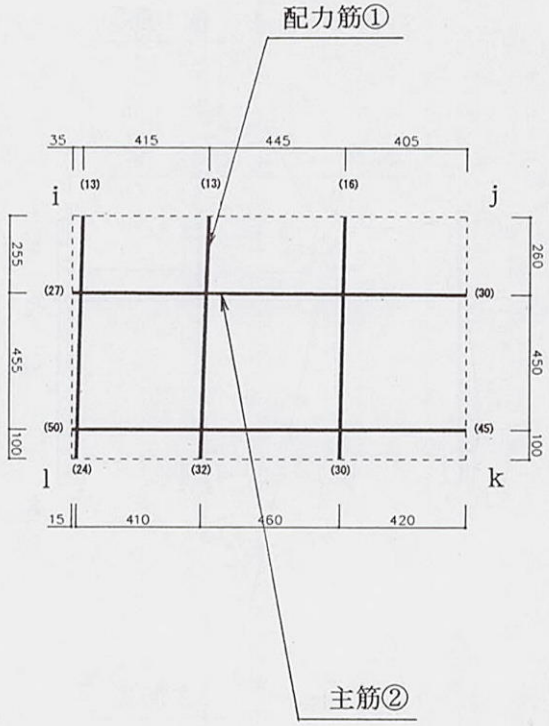
凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－19　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Nd





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	B	18	41
		左	右
主筋（丸鋼）	I	36	37

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

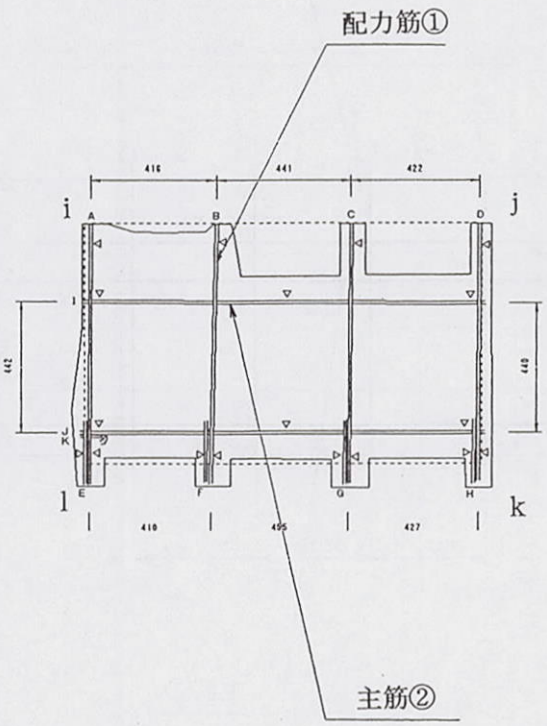
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	配力筋①	13	32
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	27	30

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－20　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

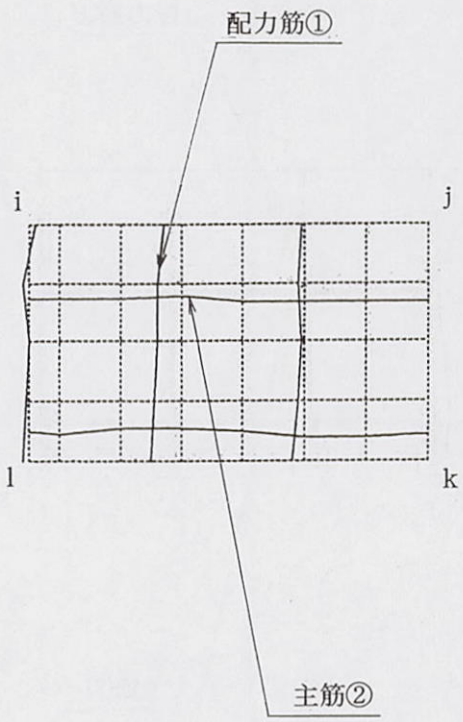
調査者　Ｔｅ



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	B	18	41
		左	右
主筋（丸鋼）	I	36	37

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

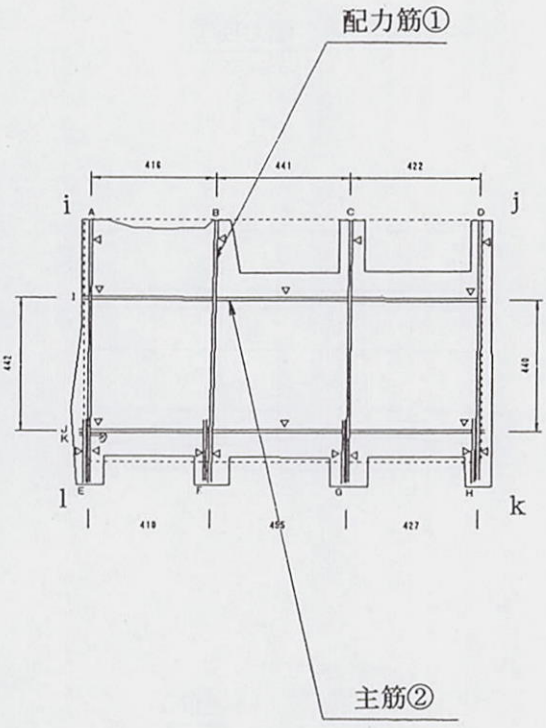
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	配力筋①	21	21
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	21	21

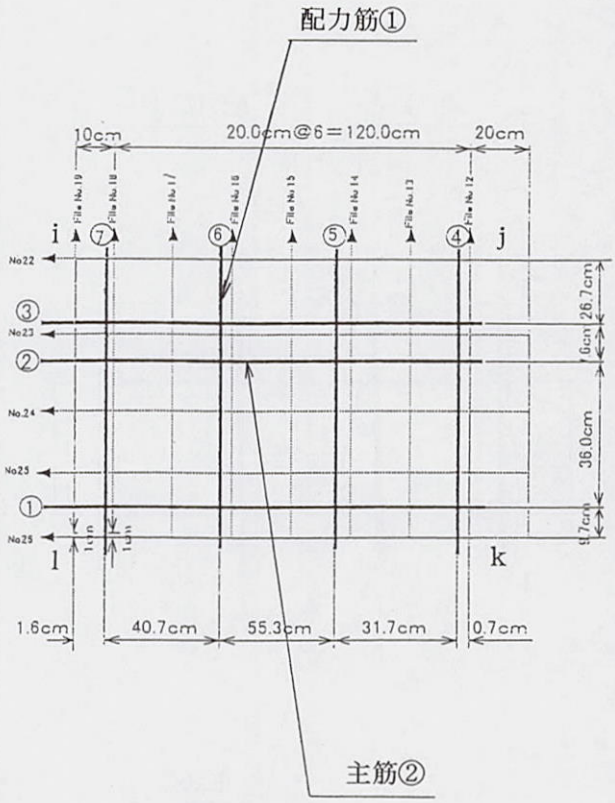
凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋

付図－21　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

調査者　Tk





鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	B	18	41
		左	右
主筋（丸鋼）	I	36	37

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所

鉄筋のかぶり厚さ

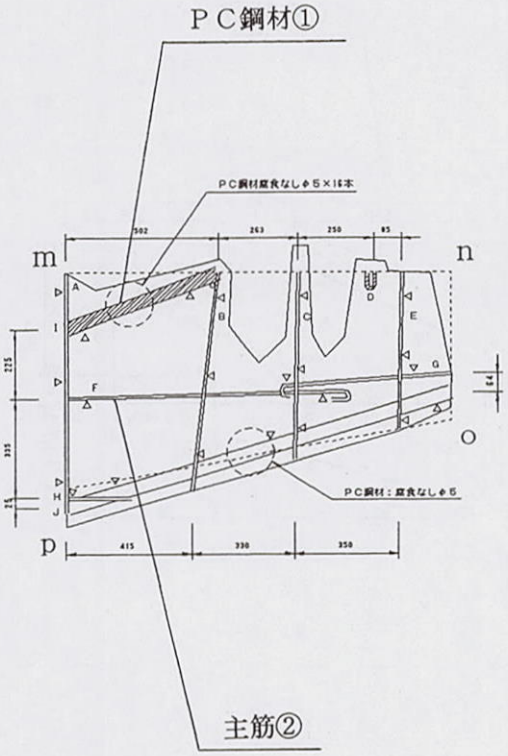
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		上	下
配力筋（丸鋼）	配力筋①	44	44
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	34	34

凡例
：鉄筋探査範囲
：鉄筋

付図－22　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面　（比較図）

はつり調査結果

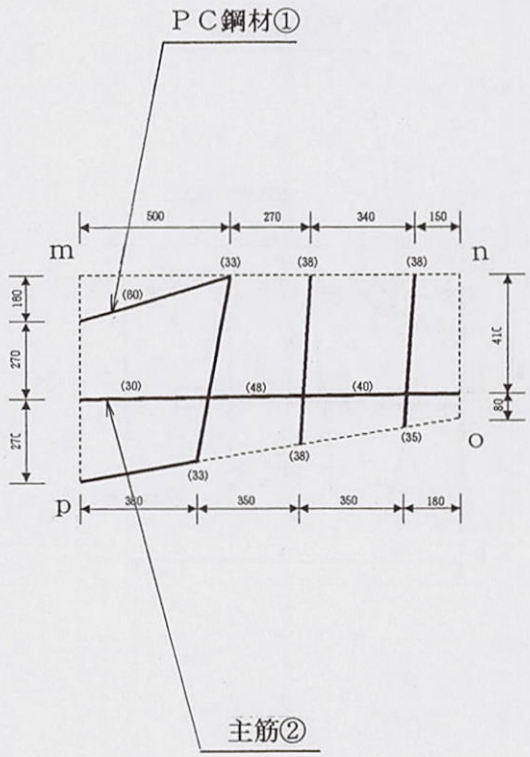
調査者　Cg



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	I	50	74
		左	右
主筋（丸鋼）	F	31	58

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

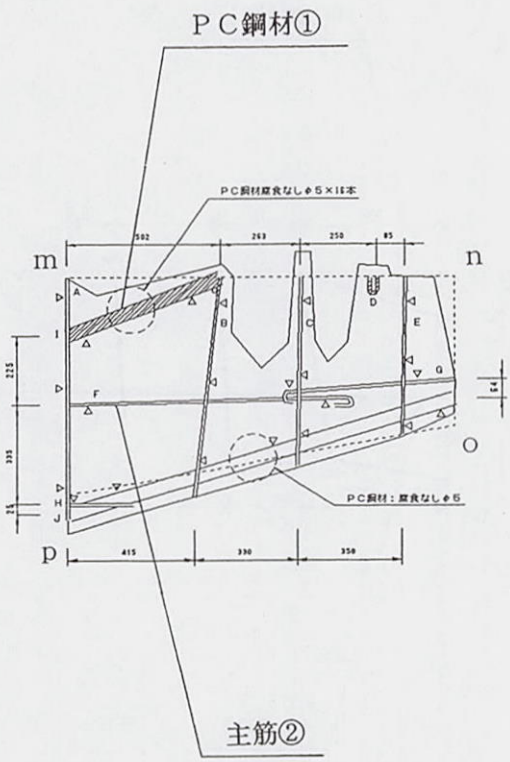
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	ＰＣ鋼材①	60	33
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	30	40

凡例
－－－　：鉄筋採査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－23　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面　（比較図）

はつり調査結果

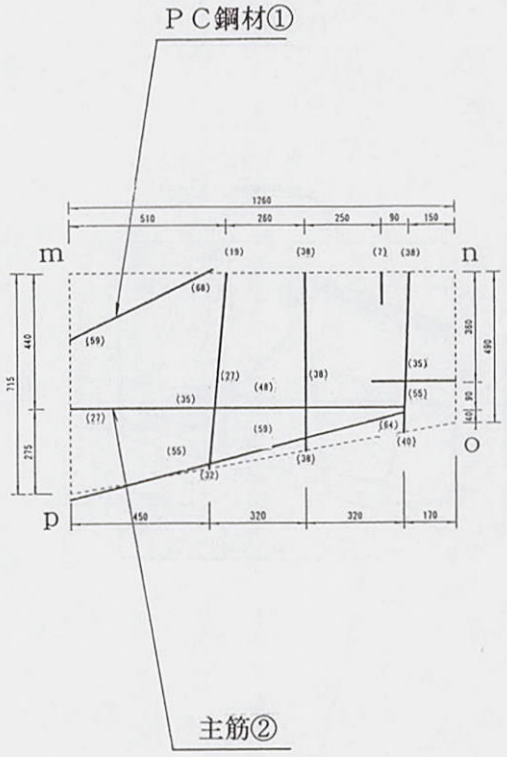
調査者　Dk



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	I	50	74
		左	右
主筋（丸鋼）	F	31	58

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



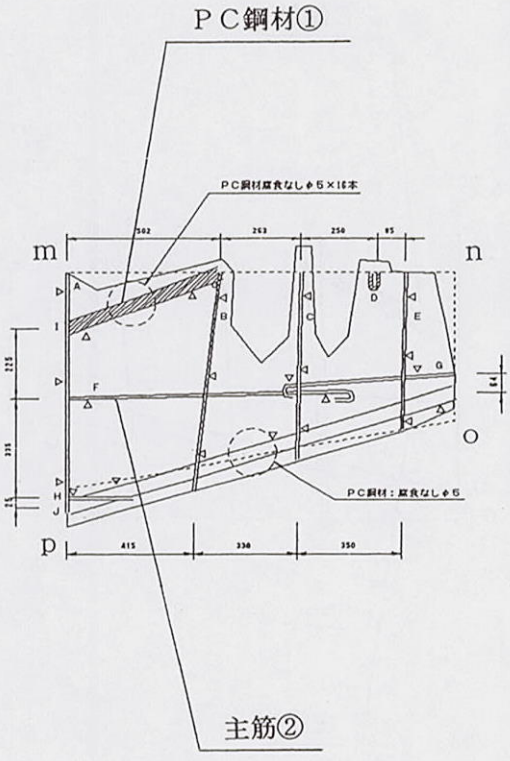
鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	ＰＣ鋼材①	59	68
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	27	55

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－24　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面　（比較図）

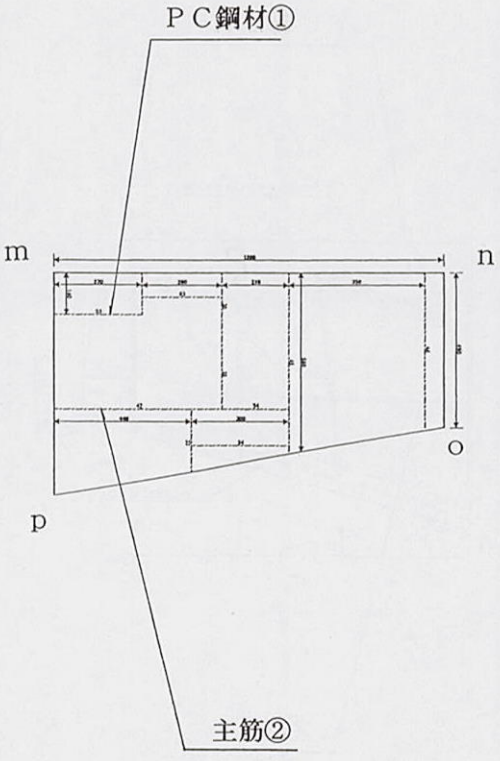
はつり調査結果	調査者　Ｆｂ



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	I	50	74
		左	右
主筋（丸鋼）	F	31	58

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



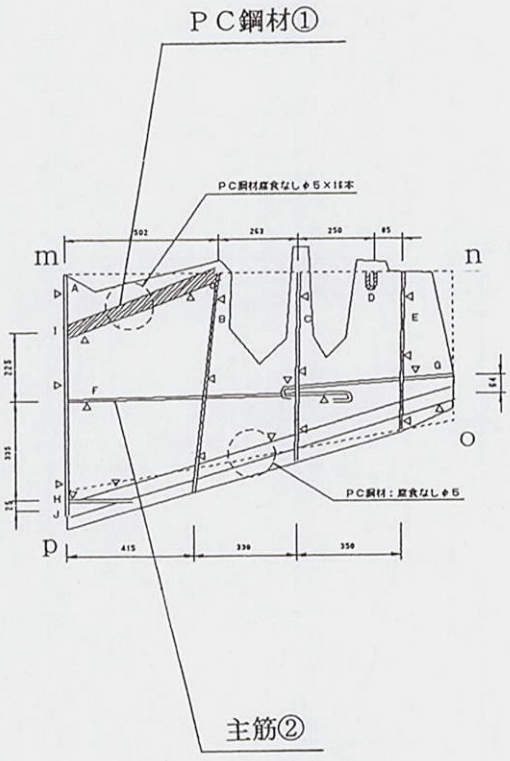
鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	ＰＣ鋼材①	53	53
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	42	54

凡例
——　：鉄筋探査範囲
－－－　：鉄筋
数値　：かぶり厚さ

付図－25　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面　（比較図）

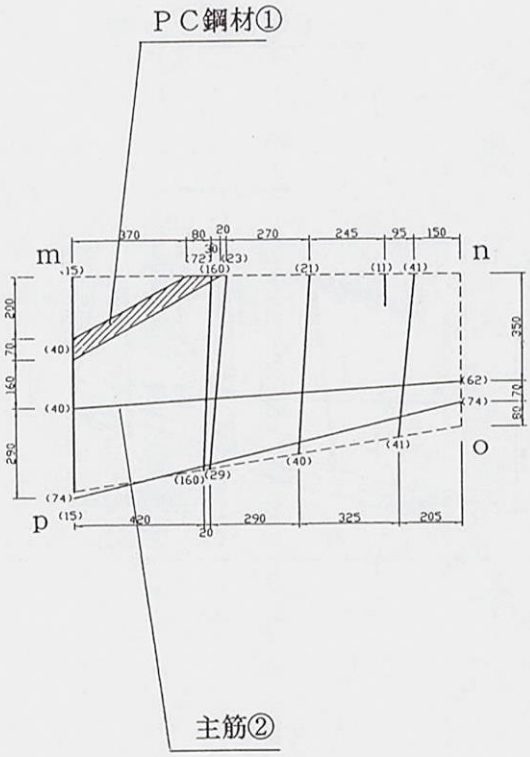
はつり調査結果	調査者　Ｍｅ



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	I	50	74
		左	右
主筋（丸鋼）	F	31	58

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



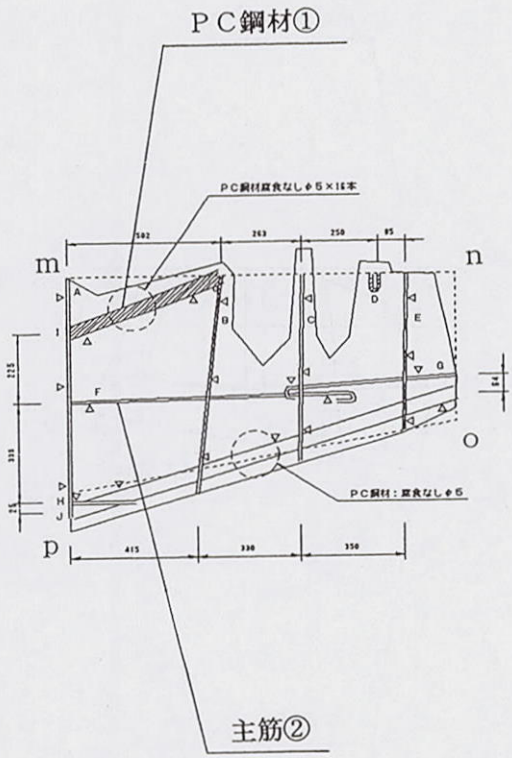
鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	ＰＣ鋼材①	40	72
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	40	62

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－26　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面　（比較図）

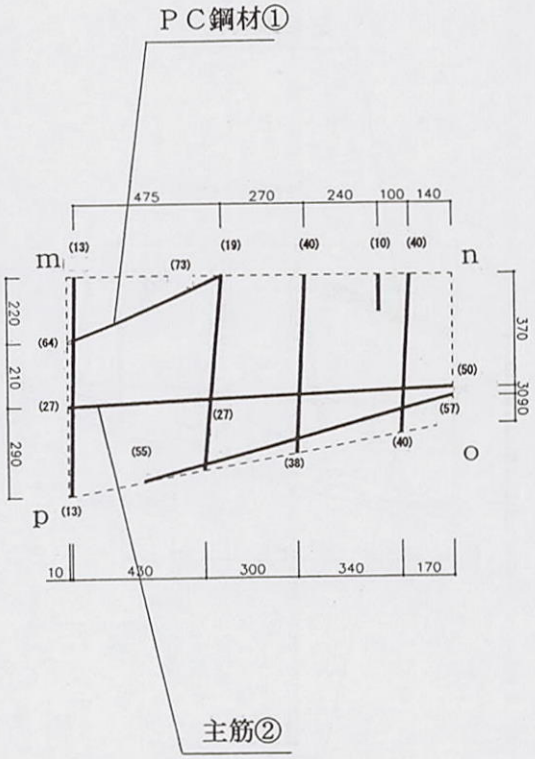
はつり調査結果	調査者　Nd



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	I	50	74
		左	右
主筋（丸鋼）	F	31	58

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

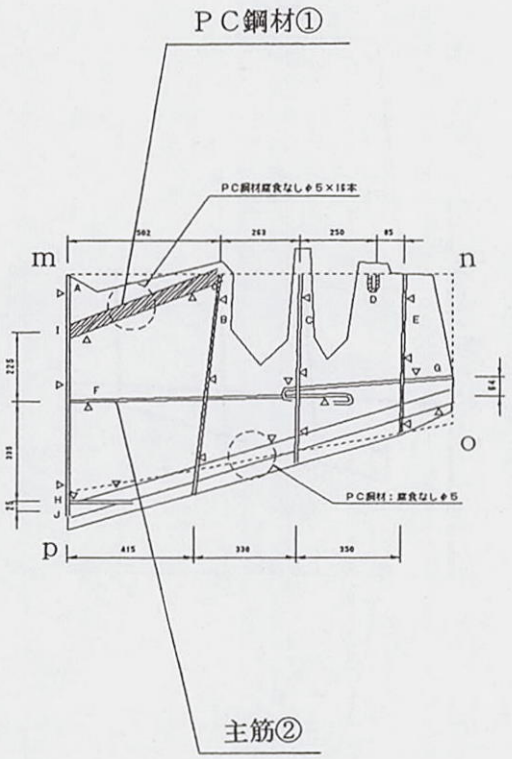
鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	ＰＣ鋼材①	64	73
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	27	50

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
▬▬　：鉄筋
（　）数値：補正前かぶり厚さ

付図－27　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面　（比較図）

はつり調査結果

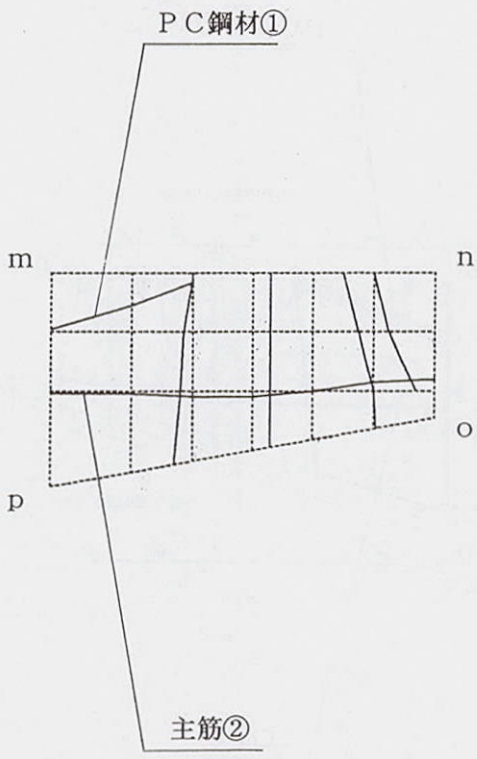
調査者　Ｔｅ



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	I	50	74
		左	右
主筋（丸鋼）	F	31	58

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



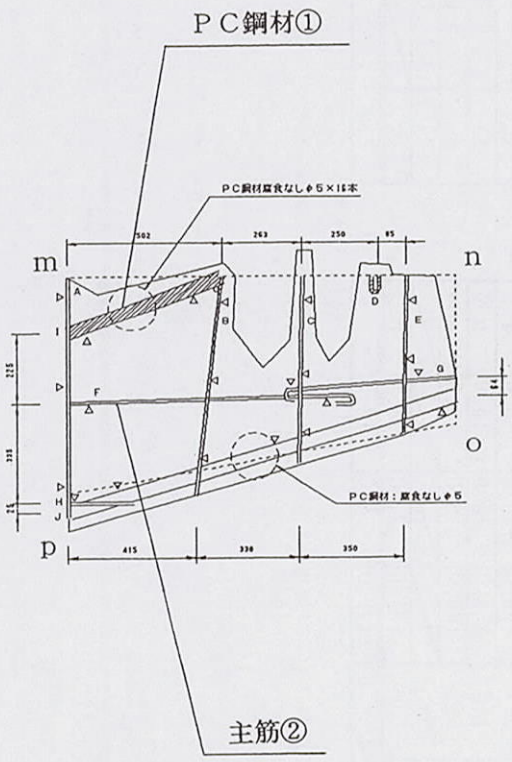
鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	ＰＣ鋼材①	28	28
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	28	28

凡例
－－－　：鉄筋探査範囲
━━　：鉄筋

付図－28　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面　（比較図）

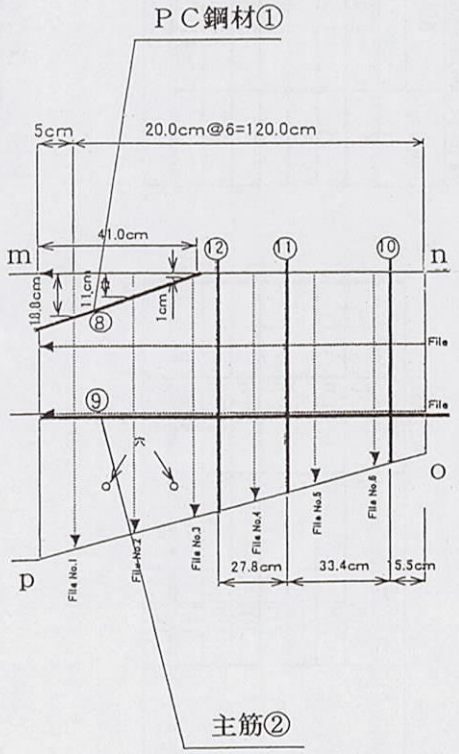
はつり調査結果	調査者　Tk



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	I	50	74
		左	右
主筋（丸鋼）	F	31	58

凡例
△　：　かぶり厚さ測定箇所



鉄筋のかぶり厚さ

鉄筋	記号	かぶり厚さ（mm）	
		左	右
シース	ＰＣ鋼材①	65	65
		左	右
主筋（丸鋼）	主筋②	45	45

凡例
：鉄筋探査範囲
：鉄筋

付図－29　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面　（比較図）

付表－6　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ａ面

主筋①上

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A	204	200.0	-4.0	4.0	j
B		188.0	-16.0	16.0	h
C		—	—	—	—
D		210.0	6.0	6.0	m
E		199.0	-5.0	5.0	j
F		190.0	-14.0	14.0	h
G		163.0	-41.0	41.0	d
平均		191.7	-12.3	14.3	

最大誤差　7.0
誤差範囲　-2.0　～　7.0

主筋①下

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A	207	200.0	-7.0	7.0	i
B		200.0	-7.0	7.0	i
C		—	—	—	—
D		210.0	3.0	3.0	l
E		202.0	-5.0	5.0	j
F		190.0	-17.0	17.0	h
G		163.0	-44.0	44.0	d
平均		194.2	-12.8	13.8	

最大誤差　-11.0
誤差範囲　-11.0　～　5.0

総括表(調査誤差)

単位：mm

調査者	配力筋①		主筋②		平均
	上	下	左	右	
A	-4.0	-7.0	-6.0	10.0	-1.8
B	-16.0	-7.0	2.0	13.0	-2.0
C	—	—	-56.0	-10.0	-16.5
D	6.0	3.0	4.0	15.0	7.0
E	-5.0	-5.0	0.0	5.0	-1.3
F	-14.0	-17.0	4.0	0.0	-9.0
G	-41.0	-44.0	0.0	21.0	-21.3
				平均	-7.5

配力筋②左

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A	186	180.0	-6.0	6.0	i
B		188.0	2.0	2.0	l
C		130.0	-56.0	56.0	a
D		190.0	4.0	4.0	l
E		186.0	0.0	0.0	l
F		190.0	4.0	4.0	l
G					
平均		177.3	-8.7	12.0	

最大誤差　-15.0
誤差範囲　-15.0　～　4.0

配力筋②右

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	
A	140	150.0	10.0	10.0	n
B		153.0	13.0	13.0	n
C		130.0	-10.0	10.0	i
D		155.0	15.0	15.0	o
E		145.0	5.0	5.0	m
F					
G		161.0	21.0	21.0	p
平均		149.0	9.0	12.3	

最大誤差　-16.0
誤差範囲　-16.0　～　3.0

総括表(｜調査誤差｜)

単位：mm

調査者	配力筋①		主筋②		平均
	上	下	左	右	
A	4.0	7.0	6.0	10.0	6.8
B	16.0	7.0	2.0	13.0	9.5
C	—	—	56.0	10.0	16.5
D	6.0	3.0	4.0	15.0	7.0
E	5.0	5.0	0.0	5.0	3.8
F	14.0		4.0	0.0	6.0
G		44.0	0.0	21.0	21.7
				平均	11.9

付表－7　旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面

主筋①上

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A		220.0	-18.0	18.0	h
B		—	—	—	—
C		—	—	—	—
D	238	270.0	32.0	32.0	r
E		—	—	—	—
F		200.0	-38.0	38.0	e
G		230.0	-8.0	8.0	i
平均		230.0	-8.0	24.0	

最大誤差　7.0
誤差範囲　-2.0　～　7.0

主筋①下

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A		230.0	-10.0	10.0	i
B		—	—	—	—
C		—	—	—	—
D	240	230.0	-10.0	10.0	i
E		—	—	—	—
F		200.0	-40.0	40.0	e
G		230.0	-10.0	10.0	i
平均		222.5	-17.5	17.5	

最大誤差　-11.0
誤差範囲　-11.0　～　5.0

配力筋②左

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A		204.0	-16.0	16.0	h
B		—	—	—	—
C		180.0	-40.0	40.0	e
D	220	210.0	-10.0	10.0	i
E		183.0	-37.0	37.0	e
F		200.0	-20.0	20.0	h
G		192.0	-28.0	28.0	f
平均		194.8	-25.2	25.2	

最大誤差　-15.0
誤差範囲　-15.0　～　4.0

配力筋②右

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A		230.0	-9.0	9.0	i
B		—	—	—	—
C		180.0	-59.0	59.0	a
D	239	250.0	11.0	11.0	n
E		237.0	-2.0	2.0	j
F		200.0	-39.0	39.0	e
G		192.0	-47.0	47.0	c
平均		214.8	-24.2	27.8	

最大誤差　-16.0
誤差範囲　-16.0　～　3.0

総括表(調査誤差)

単位：mm

調査者	配力筋①		主筋②		平均
	上	下	左	右	
A	-18.0	-10.0	-16.0	-9.0	-13.3
B	—	—	—	—	0.0
C	—	—	-40.0	-59.0	-24.8
D	32.0	-10.0	-10.0	11.0	5.8
E	—	—	-37.0	-2.0	-9.8
F	-38.0		-20.0	-39.0	-32.3
G		-10.0	-28.0	-47.0	-31.0
				平均	-17.6

総括表(｜調査誤差｜)

単位：mm

調査者	配力筋①		主筋②		平均
	上	下	左	右	
A	18.0	10.0	16.0	9.0	13.3
B	—	—	—	—	0.0
C	—	—	40.0	59.0	24.8
D	32.0	10.0	10.0	11.0	15.8
E	—	—	37.0	2.0	9.8
F	38.0		20.0	39.0	32.3
G		10.0	28.0	47.0	28.3
				平均	20.7

付表－8　旧芦川橋Ｇ１桁　Ａ面

配力筋①上

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A	18	16.0	-2.0	2.0	j
B		18.0	0.0	0.0	l
C		25.0	7.0	7.0	m
D		18.0	0.0	0.0	l
E		18.0	0.0	0.0	l
F		21.0	3.0	3.0	l
G					
平均		19.3	1.3	2.0	

最大誤差　7.0
誤差範囲　-2.0　～　7.0

配力筋①下

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A	41	35.0	-6.0	6.0	i
B		39.0	-2.0	2.0	j
C		30.0	-11.0	11.0	h
D		46.0	5.0	5.0	m
E		41.0	0.0	0.0	l
F					
G		44.0	3.0	3.0	l
平均		39.2	-1.8	4.5	

最大誤差　-11.0
誤差範囲　-11.0　～　5.0

主筋②左

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A	36	37.0	1.0	1.0	l
B		34.0	-2.0	2.0	j
C		34.0	-2.0	2.0	j
D		40.0	4.0	4.0	l
E		36.0	0.0	0.0	l
F		21.0	-15.0	15.0	h
G		34.0	-2.0	2.0	j
平均		33.7	-2.3	3.7	

最大誤差　-15.0
誤差範囲　-15.0　～　4.0

主筋②右

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	｜誤差｜	判定
A	37	40.0	3.0	3.0	l
B		37.0	0.0	0.0	l
C		34.0	-3.0	3.0	j
D		23.0	-14.0	14.0	h
E		37.0	0.0	0.0	l
F		21.0	-16.0	16.0	h
G		34.0	-3.0	3.0	j
平均		32.3	-4.7	5.6	

最大誤差　-16.0
誤差範囲　-16.0　～　3.0

総括表(調査誤差)

単位：mm

調査者	配力筋①		主筋②		平均
	上	下	左	右	
A	-2.0	-6.0	1.0	3.0	-1.0
B	0.0	-2.0	-2.0	0.0	-1.0
C	7.0	-11.0	-2.0	-3.0	-2.3
D	0.0	5.0	4.0	-14.0	-1.3
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	3.0		-15.0	-16.0	-9.3
G		3.0	-2.0	-3.0	-0.7
				平均	-2.6

総括表(｜調査誤差｜)

単位：mm

調査者	配力筋①		主筋②		平均
	上	下	左	右	
A	2.0	6.0	1.0	3.0	3.0
B	0.0	2.0	2.0	0.0	1.0
C	7.0	11.0	2.0	3.0	5.8
D	0.0	5.0	4.0	14.0	5.8
E	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F	3.0		15.0	16.0	11.3
G		3.0	2.0	3.0	2.7
				平均	4.9

付表－9　旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面

ＰＣ鋼材①左

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	|誤差|	判定
A	50	60.0	10.0	10.0	n
B		72.0	22.0	22.0	p
C		—	—	—	—
D		72.0	22.0	22.0	p
E		74.0	24.0	24.0	p
F		28.0	-22.0	22.0	g
G		65.0	15.0	15.0	o
平均		61.8	11.8	19.2	

最大誤差　7.0
誤差範囲　-2.0　～　7.0

ＰＣ鋼材①右

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	|誤差|	判定
A	74	60.0	-14.0	14.0	h
B		63.0	-11.0	11.0	h
C		—	—	—	—
D		40.0	-34.0	34.0	f
E		50.0	-24.0	24.0	g
F		28.0	-46.0	46.0	c
G		65.0	-9.0	9.0	i
平均		51.0	-23.0	23.0	

最大誤差　-11.0
誤差範囲　-11.0　～　5.0

総括表(調査誤差)

単位：mm

調査者	配力筋①		主筋②		平均
	左	右	左	右	
A	10.0	-14.0	-1.0	-18.0	-5.8
B	22.0	-11.0	0.0	-16.0	-1.3
C	—	—	11.0	-4.0	1.8
D	22.0	-34.0	9.0	4.0	0.3
E	24.0	-24.0	0.0	1.0	0.3
F	-22.0	-46.0	-3.0	-30.0	-33.7
G	15.0	-9.0	14.0	-13.0	2.3
				平均	-6.0

主筋②左

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	|誤差|	判定
A	31	30	-1.0	1.0	k
B		31	0.0	0.0	l
C		42	11.0	11.0	n
D		40	9.0	9.0	m
E		31	0.0	0.0	l
F		28	-3.0	3.0	j
G		45	14.0	14.0	n
平均		35.3	4.3	5.4	

最大誤差　-15.0
誤差範囲　-15.0　～　4.0

主筋②右

単位：mm

調査者	はつり結果	調査結果	誤差	|誤差|	判定
A	58	40.0	-18.0	18.0	h
B		42.0	-16.0	16.0	h
C		54.0	-4.0	4.0	j
D		62.0	4.0	4.0	l
E		59.0	1.0	1.0	l
F		28.0	-30.0	30.0	f
G		45.0	-13.0	13.0	h
平均		47.1	-10.9	12.3	

最大誤差　-16.0
誤差範囲　-16.0　～　3.0

総括表(｜調査誤差｜)

単位：mm

調査者	配力筋①		主筋②		平均
	左	右	左	右	
A	10.0	14.0	1.0	18.0	10.8
B	22.0	11.0	0.0	16.0	12.3
C	—	—	11.0	4.0	3.8
D	22.0	34.0	9.0	4.0	17.3
E	24.0	24.0	0.0	1.0	12.3
F	22.0		3.0	30.0	18.3
G		9.0	14.0	13.0	12.0
				平均	14.5

付表－10　調査誤差総括表

箇所 / 調査者				旧暮坪陸橋Ｐ３橋脚　Ｂ面							旧芦川橋Ｇ１桁　Ｂ面			
	1-①-下	1-②-左	1-②-右	2-①-上	2-①-下	2-②-左	2-②-右	3-①-下	3-②-左	3-②-右	4-①-左	4-①-右	4-②-左	4-②-右
	207	186.0	140	238.0	240	220	239	41	36	37	50	74	31	58
A	-7.0	-6.0	10.0	-18.0	-10.0	-16.0	-9.0	-6.0	1.0	3.0	10.0	-14.0	-1.0	-18.0
B	-7.0	2.0	13.0	—	—	—	—	-2.0	-2.0	0.0	22.0	-11.0	0.0	-16.0
C	—	-56.0	-10.0	—	—	-40.0	-59.0	-11.0	-2.0	-3.0	—	—	11.0	-4.0
D	3.0	4.0	15.0	32.0	-10.0	-10.0	11.0	5.0	4.0	-14.0	22.0	-34.0	9.0	4.0
E	-5.0	0.0	5.0	—	—	-37.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	24.0	-24.0	0.0	1.0
F	-17.0	4.0	0.0	-38.0	-40.0	-20.0	-39.0	0.0	-15.0	-16.0	-22.0	-46.0	-3.0	-30.0
G	-44.0	0.0	21.0	-8.0	-10.0	-28.0	-47.0	3.0	-2.0	-3.0	15.0	-9.0	14.0	-13.0

付属－３

電磁誘導法・電磁波反射法による
コンクリート構造物の鉄筋位置およびかぶり測定手順（案）

1．総則

1．1　適用範囲

本測定手順(案)は，電磁誘導法および電磁波反射法によって鉄筋コンクリート構造物の鉄筋位置およびかぶりを測定する場合の，標準的な実施方法について記述したものである。

【解説】

鉄筋コンクリート構造物がその機能を満足するためには，埋設された鉄筋が健全な状態(腐食を生じていない状態)であることが前提である。しかし，鉄筋を保護する役割を担うかぶり部のコンクリートは，凍害や塩害，中性化によって鉄筋の保護性能を低下させ，すり減り作用などにより劣化する。

このような性能の低下あるいは劣化は，構造物が長期間に供用されることによって進行するため，十分にかぶりが確保された鉄筋コンクリート構造物では，供用中に構造物の機能が損なわれることはない。このため，鉄筋コンクリート構造物の設計においては，構造物の耐久性を確保するために，構造細目としてかぶりの最小値が規定されるのが一般的である。また，施工に際しては，鉄筋組立て時にスペーサーを用いて設定されたかぶりが確保されるよう注意が払われている。しかし，コンクリート打設時の鉄筋の移動や，型枠の立上げ精度などの問題から，かぶり不足が生じる可能性が否定できない。

鉄筋腐食の直接的な原因となる中性化や塩化物イオンの浸透は，コンクリートの表面から進行するものであり，かぶり不足はコンクリート構造物の劣化速度に密接に関連するものである。したがって，正確なかぶりを測定することで，コンクリート構造物の健全度診断や構造物の将来の耐久性予測を行う上での非常に重要な情報を得ることができる。

しかしながら，電磁誘導法および電磁波反射法によってかぶりを測定する場合，必ずしも高い精度が確保されているとは言い難いのが現状である。これは，コンクリートのような不均質材料を測定することに起因する不確定要因のほか，鉄筋位置およびかぶりの適切な測定手順に関する標準的な方法が確立していないことも一因と考えられる．

このような状況を鑑み，本測定手順(案)では，構造物の定期点検あるいは詳細調査等において比較的使用頻度が高く，簡易な機器構成で計測可能な電磁誘導法と電磁波反射法について，これらの測定原理に基づいて鉄筋位置およびかぶりの測定を実施するための要点をまとめた。

１．２　鉄筋位置およびかぶり測定の基本

鉄筋位置およびかぶりの測定は，図-1.1に基づき実施することを原則とする。

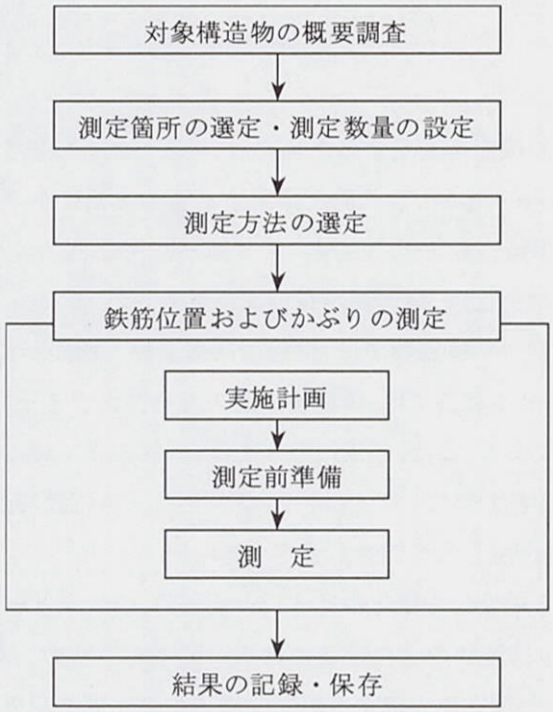


図-1.1　鉄筋位置およびかぶり測定の作業フロー

【解説】

本測定手順(案)では，一般的に行われる鉄筋位置およびかぶり測定の流れを想定し，かぶり測定実施前の情報収集の手順とその際に必要と思われる項目についてまとめた。次に，測定箇所や測定数量の選定，測定方法の選定，実施計画，鉄筋位置およびかぶり測定時の留意点に関する要点をまとめ，結果の記録方法等について述べる構成とした。

2．構造物の概要調査

2．1　概要調査の基本

構造物の概要調査は，図-2.1のフローに基づき実施することを原則とする。

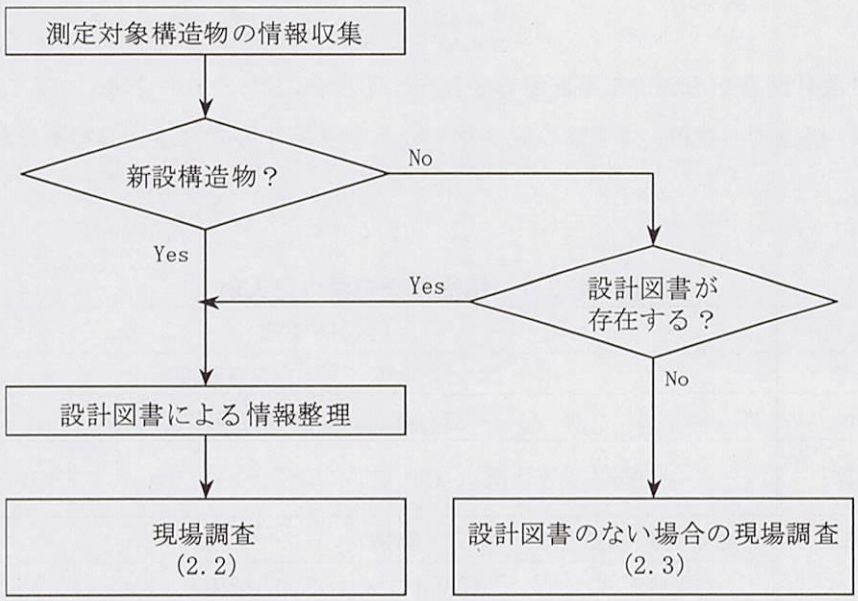


図-2.1　構造物の概要調査実施フロー

【解説】

構造物の概要調査は，図-2.1のフローによって実施する。すなわち，構造物の概要調査においては，対象構造物が新設の場合であれば，設計図書あるいは工事記録等に基づく情報収集が基本となる。また，その後は設計図書では得られない情報を現場調査によって補完する(2.2参照)。

対象構造物が既設の場合，設計図書あるいは工事記録等が存在しない場合があり，このような場合には現場調査が基本となる(2.3参照)が，いずれにしても鉄筋位置およびかぶりの測定を実施する前に構造物に関する必要かつ十分な情報を収集しておくことが重要である。

２．２　構造物の概要調査

構造物の概要調査は，設計図書，工事記録および現場調査により行い，鉄筋位置およびかぶりの測定に必要な情報を収集する。

【解説】

新設構造物などで設計図書あるいは工事記録等が存在する場合には，それらを基に，竣工時期，設計時の適用基準書，構造形式，構造物の規模，構造物の置かれている環境条件等の構造物の特徴を**解説　表-2.1**のように整理する。

解説　表-2.1　構造物概要票の記入例

構造物名称	○○○高架橋	
管 理 者	国土交通省 ○○工事事務所	
所 在 地	○○県 ××市 △△町	
路線名等	国道○○号線　(No. 10 + ○○ ～ No. 10 + ××)	
測定対象構造物の特　徴	測定対象構造物	橋梁上部構造
	構造形式	2 径間 PC プレテン T 桁橋
	諸元	橋長 60m，支間長 2@30m， 幅員 10m（片側歩道），5 主桁
	竣工	平成 10 年　3 月
	塩害地域	なし（凍結防止剤不使用）
	交差物件	県道△△号 ○○？？線，JR○○本線
	現地盤からの高さ	2m～5m
	足場等	なし
	荷重・重要度	B 活荷重・B 種の橋
	適用基準	道路橋示方書Ⅰ・Ⅲ（平成 8 年 12 月） コンクリート標準示方書（平成 8 年度）
足場等の必 要 性	あり （橋梁点検車による代用可能，ただし交差物件管理者との協議が必要）	
補修履歴および検査履歴（既設の場合）	なし（新設橋）	
備考		

2．3　設計図書のない既設構造物での概要調査

設計図書あるいは工事記録のない既設構造物では，現場調査により，鉄筋位置およびかぶりの測定に必要な情報を収集する。

【解説】

設計図書のない既設構造物では，現場調査によって，先に述べたような構造物の特徴・設置されている環境条件等を把握する。

測定原理や測定機種によって測定可能な条件が異なるため，精度よく鉄筋位置およびかぶりを測定するためには，測定対象構造物の特徴や設置条件に応じて，測定原理や測定機種を選定する必要がある。すなわち，構造物の含水状態や配筋状況を予め把握しておくことが必要となる。設計図書がない構造物では，橋銘版などに記載されている竣工年度から，設計時に適用した規準書を割り出すことで，ある程度の配筋状態を予測することができる。

3．測定箇所の選定・測定数量の設定

3．1　測定箇所の選定

1）かぶりの測定箇所は，施工上かぶりが不足しやすい箇所や，耐久性上の損傷や劣化を受けやすい箇所を選定する。

2）打音検査で異常が確認された箇所，たたき調査ではく落が生じた箇所は測定箇所として選定するのがよい。

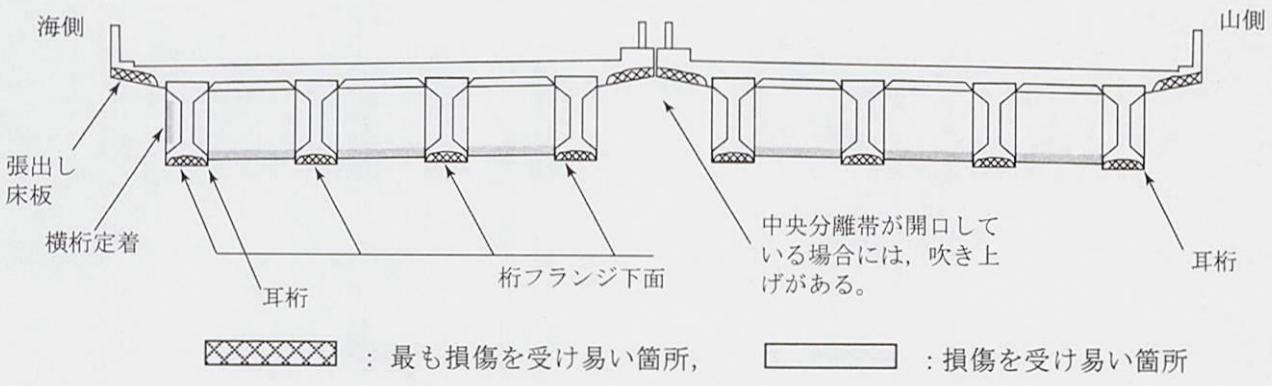
【解説】

1）について

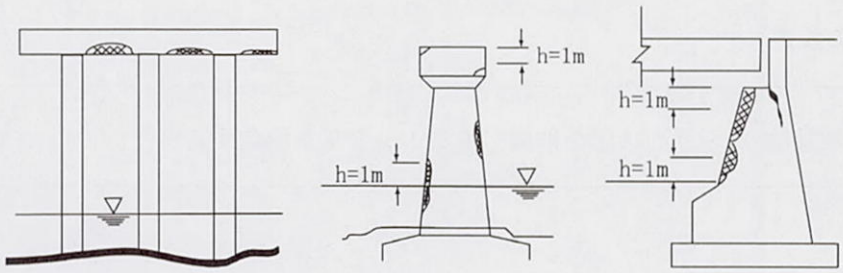
対象構造物のすべての鉄筋のかぶりを測定することは困難であることから，効率的に構造物の維持管理を実施して行くことを念頭に，測定箇所および数量を選定する。

かぶりの測定箇所は，施工上，かぶりが不足しやすい箇所を中心に選定する。土木研究所の既往の調査報告では，かぶりが確保できない原因として，鉄筋の加工・組立てのミス，スペーサーの数量不足，型枠の設置不良，コンクリート打設時の鉄筋の変形やずれ，施工方法に対する設計の配慮不足などが多いことが報告されている。これらのうち，コンクリート打設時の鉄筋の変形やずれについては，コンクリートを片押しした場合や，薄い高い壁，広いスラブで特に多く見られる。また，コンクリート打設作業時に作業員が鉄筋の上を歩行したり，コンクリートポンプ配管の振動による要因も挙げている。特に，かぶりが浅く設計されている部分では，これらの要因からかぶり不足になりやすい。

また，かぶりの測定値は，その後の構造物の定期点検で実施する中性化や塩化物イオン測定結果とともに，構造物のその時点での健全度やその後の劣化予測の評価において用いられる。このため，かぶりの測定箇所は，定期点検におけるこれらの測定箇所と一致させることが効率的である。健全度診断マニュアルには，**解説 図-3.1**および**解説 図-3.2**に示すようなかぶり不足が生じやすい床版下面や塩害を受けやすい海側面などを選定するよう記されているので，これを参考に測定箇所を選定するとよい。



解説 図-3.1　橋梁の定期点検の対象部位（T桁橋上部工の場合）



：最も損傷を受け易い箇所，　　：損傷を受け易い箇所

解説 図-3.2　橋梁の定期点検の対象部位（下部工の場合）

このほか，鉄道高架橋における竣工検査実施状況[1)]では，1構造物につき2～3箇所程度，測定箇所が選定され，構造物延長が20mを超える場合は，20m毎に2～3箇所程度としている。また，測定箇所1箇所あたりの測定範囲については，1×1m(面積：1m²)ないし2×2m(面積：4m²)程度で設定されることが多い。

2)について

一般に，打音検査で異常が確認された箇所，たたき調査ではく落が生じた箇所は，かぶりが不足している場合が多いので，構造物の劣化が進行しやすくなっている。したがって，これらの箇所については，かぶりの測定箇所として優先的に選定するのがよい。

参考文献

1)古谷：ＪＲ東日本におけるコンクリートの品質管理，コンクリート工学，Vol.39，No. 5，2001.5

３．２　測定数量の設定

かぶりの測定数量は，かぶりの状態を把握し得る十分な量を設定する。

【解説】

構造物全体のかぶりの状態状況を把握するためには，測定数量を出来るだけ多くした方が望ましい。しかしながら，測定数量の増加にともない，測定に要する時間やコストが増加するのは当然である。したがって，かぶりの測定数量については，可能な限り効率的よく，かぶりの情報が適切に把握し得る数量とするのが妥当である。

前項にて示した鉄道高架橋における竣工検査実施状況では，選定された測定箇所１箇所に対して，1～4m^{2}程度を目安として測定範囲が設定され，対象構造物の置かれている環境や，重要度を鑑み，適宜測定数量を調整しているという事例もあるので，これを参考にすると良い。

参考文献

１）建設省土木研究所：土木研究所資料，コンクリート施工の改善法に関する調査報告書，昭和62年２月

２）建設省土木研究所ほか：コンクリート構造物の健全度診断技術の開発に関する共同研究報告書，平成10年３月

4．測定方法の選定

測定方法は，測定原理の特長を十分に把握した上で，対象構造物の概要，調査箇所と数量に基づいて選定する。

【解説】

鉄筋位置およびかぶりの測定結果は，その後の定期点検等にも活用できる非常に重要な情報であるため，正確な測定結果が要求される。しかしながら，電磁誘導法あるいは電磁波反射法による鉄筋位置およびかぶりの測定結果は，対象構造物の概要や調査箇所，測定条件や測定環境，測定原理や測定器によって変化することが知られている。したがって，鉄筋位置およびかぶりの測定方法の選定においては，測定精度への影響因子を理解し，条件に応じた適切な測定方法および測定機種（電磁誘導法および電磁波反射法の各機種）を選定し使用する必要がある。参考として，**解説 表-4.1**に電磁誘導法と電磁波反射法の主な特徴の比較を示すので，これらを参考にすると良い。なお，電磁誘導法による測定では，かぶりが90mm程度以下のかぶりの場合に，電磁波反射法による測定では，かぶりが90mm程度以上のかぶりの場合に精度の良い結果が得られるとの検討結果がある[1)]。

このほか，構造物によってはひび割れが生じている場合，エポキシ樹脂塗装鉄筋が使用されている場合，さらにはコンクリート表面に塗装が施してある場合があるが，これらの各要因が電磁誘導法あるいは電磁波反射法によるかぶりの測定結果に及ぼす影響については明確な知見が得られていないのが現状である。したがって，測定方法の選定にあたっては，これらの各要因が測定方法に及ぼす影響を十分に把握した上で行うのが良い。

鉄筋位置およびかぶりの測定対象となる構造物は，様々な環境条件下にあり，同じ用途の構造物であっても，環境が変われば構造物に材料として要求される性能も変化する。どのような構造物かによって測定原理を選定することは精度良くかつ効率的に鉄筋位置およびかぶりの測定を行うためには非常に有効な手段なので，構造物の概要や測定箇所や数量を確認するのが重要である。

解説 表-4.1　電磁誘導法と電磁波反射法の主な特徴の比較

測定方法 ／ 影響因子	電磁誘導法	電磁波反射法
コンクリートの品質	影響を受けない	影響を受ける※
コンクリートの含水率	影響を受けない	影響を受ける※
鉄筋径	影響を受ける	影響を受けない
鉄筋以外の金属の混入	影響を受ける	影響を受ける

※ 電磁波反射法では，コンクリートの品質やコンクリートの含水状態により，較正値であるコンクリートの誘電率が変化することに注意する必要がある。

参考文献

1）独立行政法人土木研究所ほか:コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書－電磁誘導法・電磁波反射法による鉄筋位置およびかぶりの測定－，平成15年3月

５．鉄筋位置およびかぶりの測定

５．１　実施計画

１）鉄筋位置およびかぶりの測定にあたっては，測定が安全かつ効率的に実施できるよう，作業場所の確保，作業時の安全対策，測定前の構造物現況の確認，キャリブレーションの方法，測定時における人員の配置および記録方法や，測定箇所の変更に対する対応などについて事前に実施計画を策定する。

２）新設構造物において鉄筋位置およびかぶりの測定を計画する場合は，施工中の仮設足場等を撤去する前に実施可能な計画を策定するのが良い。

３）既設構造物において鉄筋位置およびかぶりの測定を計画する場合は，設計図書および現場調査により作業条件等を確認した上で計画を策定する。

【解説】

１）について

電磁誘導法あるいは電磁波反射法による鉄筋位置およびかぶりの測定は，定められた測定範囲内の鉄筋位置およびかぶりに関する必要十分な情報が得られるように，安全かつ効率的に行われる必要がある。これを達成するためには，足場または高所作業車などによる作業場所の確保，測定時の作業員の安全対策，測定に影響を及ぼす可能性のあるコンクリート表面のひび割れや表面塗装箇所，はく落部分等の確認，誘電率の設定方法などのキャリブレーションの方法（電磁波反射法の場合），測定時における人員の配置や記録方法，さらには不測の事態による測定箇所の変更に対する対応方法などについて，あらかじめ実施計画として策定しておくことが重要である。

２）について

新設構造物における鉄筋位置およびかぶりの測定結果は，定期点検時または竣工後の構造物に劣化現象が確認された場合などに，劣化原因推定のための基礎情報として有効に利用される。このほか，鉄筋位置およびかぶりは，はく離やはく落が生じない限り，経年によって変化しないため，竣工前に測定した結果はその後の点検時にも利用することが可能である。このため，新設構造物において適切にかぶりの情報を把握しておくことは有効である。

なお，橋梁上部工を竣工後に測定する場合には，調査時に高所作業車を必要とするなどのコストの増大が生じることがあるので，可能な限り施工中の足場を利用して測定を実施するのが良い。

３）について

既設構造物における鉄筋位置およびかぶりの測定は，事前に作業条件を確認しておくことが重要である。すなわち，設計図書がある場合でも，施工当時と現在で周囲の条件が変化している可能性がある。このため，現場調査により測定時の構造物の状況を確認する必要がある。特に，橋梁上部工のように調査時に仮設足場や高所作業車を必要とする場合，仮設足場や高所作業車による作業が可能な範囲を確認した上で，計画することが重要である。

５．２　測定前準備

１）鉄筋位置およびかぶりの測定前準備として，コンクリートのはく落状況，コンクリート表面のひび割れ状況，塗装箇所，エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用箇所などについて確認しておく。
２）測定方法として電磁誘導法を選定した場合には，測定装置の鉄筋径に対する影響を確認しておく。
３）測定方法として電磁波反射法を選定した場合には，測定時のコンクリートと同一の含水状態であることを確認した上でキャリブレーション(誘電率の測定)を実施する。

【解説】

１)について

新設構造物においては，鉄筋位置およびかぶりの測定結果は，構造物が設計図書どおりの配筋となっているかどうかを確認するためのみならず，その後のコンクリートの耐久性予測を行う上で重要な基礎情報となる。また，既設構造物においても，コンクリートのはく落状況やコンクリート表面のひび割れ状況，あるいはコンクリート中の塩化物イオン含有量や中性化深さなどの調査結果と併用することにより，構造物の劣化診断や補修・補強の選定等に利用することができる。

測定箇所におけるコンクリート表面のひび割れ状況や塗装された部分の範囲，エポキシ樹脂塗装鉄筋が使用された箇所などについては，鉄筋位置およびかぶりの測定に影響を及ぼす可能性のある要因であると同時に，構造物の維持管理を行う上で有益な情報となり得る。このため，これらについては測定前準備段階であらかじめ確認し，記録しておくことが重要である。

２)について

電磁誘導法による鉄筋位置およびかぶりの測定においては，構造物に使用された鉄筋の径が測定値に影響を及ぼすことが知られている。このため，電磁誘導法により精度の良い鉄筋位置およびかぶりの測定を行うためには，測定前準備としてあらかじめコンクリート中の鉄筋径が測定結果に及ぼす影響を確認しておくことが重要である。

３)について

電磁波反射法による測定結果は，コンクリートの含水状態の違いによって影響を受けることが知られている。このため，電磁波反射法によって鉄筋位置およびかぶりを精度よく測定するためには，誘電率に関するキャリブレーションが極めて重要である。

新設構造物に対して誘電率に関するキャリブレーションを行う場合には，コンクリート打設前に，かぶりが明確となる様なマーキング等の措置を施しておくことで，マーキング箇所からかぶりの真値を測定することが可能となるので，精度の良い測定が可能となる。

また，既設構造物に対して誘電率に関するキャリブレーションを行う場合には，はつり調査により鉄筋位置を実測することで，かぶり部分のコンクリートの誘電率を正確に定めることが可能となり，精度の高い測定が可能となる。

５．３　測定

１）鉄筋位置およびかぶりの測定は以下の手順を基本とする。
　① 定められた測定範囲の周における鉄筋位置を推定する。
　② 測定範囲周上の鉄筋位置から，測定範囲内における配筋状態を予測する。
　③ 予測された配筋状態から，交差部と交差部の中点近傍を測定点としてかぶりを測定する。
２）測定値にばらつきがある場合には，その原因を明らかにした上で再び測定する。
３）電磁波反射法による測定の場合，測定範囲の含水状態が明らかに不均一な場合には，測定点毎にキャリブレーションを行うか，または含水状態が均一とみなせる範囲を新たに選定して実施する。

【解説】

１）について

鉄筋位置およびかぶりの測定に用いる装置は，測定原理が同一であっても製造メーカーによって操作方法等に若干の相違があるが，ここでは，いずれの装置を使用した場合であっても，鉄筋位置およびかぶりを測定する際に基本となる共通の手順について述べることとした。

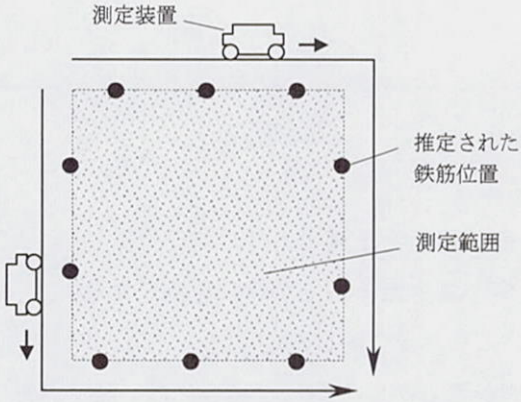
本手順書で示した測定の流れでは，まず構造物の概要を調査し，測定箇所および数量を設定し，測定方法を選定する。鉄筋位置およびかぶりの測定は，設定された測定範囲全てにおいて面的に鉄筋位置とかぶりの情報を得ることが維持管理上理想的ではあるが，費用や供用中の構造物に与える制約等を考慮すると，必ずしも効率的であるとはいい難い。したがって，本手順書では，まず設定された測定範囲の周における鉄筋位置を推定し，測定範囲周上の鉄筋位置から，測定範囲内における配筋状態を予測し，これに基づいて所定の地点におけるかぶりの測定を実施することを基本とした。また，かぶりの測定点に関しては，鉄筋と鉄筋が交差する部分では測定が困難であることを勘案し，交差部と交差部の中点近傍とした。

なお，**解説 図-5.1** に鉄筋位置の推定ならびにかぶりの測定の手順を図示したので，これを参考にするとよい。

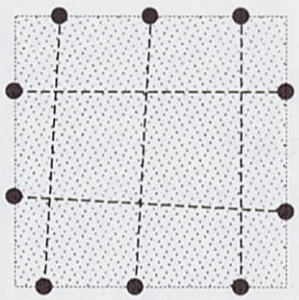
２），３）について

電磁誘導法ならびに電磁波反射法により鉄筋位置およびかぶりを測定した場合，設計図書あるいは工事記録からは想定され得ないばらつきのある結果となる場合がある。この理由としては，実際にかぶりがばらついているためであるほか，金属片などの異物の混入やコンクリートの含水状態の極端な違いなどが考えられ，この場合には鉄筋位置やかぶりが異常であると判断するのは早計である。したがって，測定結果にばらつきの大きい値がある場合には，当該の測定地点近傍を改めて測定し，ばらつきの生じた原因を明らかにすることが重要である。

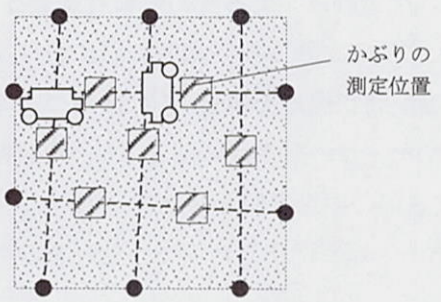
また，電磁波反射法による測定において，測定範囲の含水状態が大きく変化している場合には，測定結果も大きくばらつくことが予想される。この場合には，測定点毎にキャリブレーションを行うか，または含水状態が均一とみなせる範囲を新たに選定して実施するのがよい。



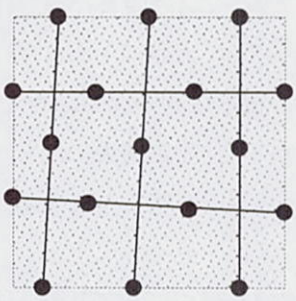
① 測定範囲の周に沿って測定装置を走査し，測定範囲外周上における鉄筋位置を探査する。



② 周上の鉄筋位置から測定範囲内の鉄筋位置を推定する。この場合，設計図書あるいは工事記録などと整合を取ることが望ましい。



③ 推定した鉄筋位置に基づき，交差部と交差部の中点近傍をかぶり測定位置として測定する。ばらつきが大きい場合には，測定点近傍を改めて測定する。



④ かぶりの測定結果の例は左図のようになる(図中の●が測定点)。電磁波反射法の場合には，各測定点に用いた誘電率を併記しておくのが良い。

解説 図-5.1　鉄筋位置の推定ならびにかぶり測定の例

６．結果の記録と保存

６．１　結果の記録

鉄筋位置およびかぶりの測定結果については，以下の項目について記録する。

① 構造物の概要記録

② 測定結果記録（一覧表）

③ 測定記録（測定状況記録写真）

④ 電磁誘導法あるいは電磁波反射法による検出波形等

【解説】

構造物の維持管理を効率的に行うため，鉄筋位置およびかぶりの測定を実施する際に入手した構造物の概要を整理し，構造物名称，管理者，所在地，路線名等，測定対象構造物の特徴，足場等の必要性，補修履歴，構造形式，完成年月，設計基準，コンクリートの設計基準強度，設計の鉄筋間隔，設計のかぶり厚さ，施工業者，調査年月などの項目について記入する。

測定結果記録には，試験方法（選択した測定原理），測定箇所（構造一般図），測定点の詳細な位置，構造物の現況（ひび割れ，はく離，さび汁等），測定数量，装置名，測定者名，測定結果（鉄筋位置およびかぶりの測定値）などの項目が必要である。また，電磁波反射法においては，測定に先立って較正に用いたコンクリートの誘電率などのキャリブレーション結果や，コンクリートの含水状態などに関する内容も記録すべき項目として必要である。

測定記録には，構造物全景および路下状況や各測定範囲および調査状況などを写真で記録しておくことが望ましい。

電磁誘導法あるいは電磁波反射法により取得したデーターは整理した結果を確認するために有効である。

６．２　結果の保存

非破壊試験によるコンクリート構造物の鉄筋位置およびかぶりの測定結果については，適切な方法で記録しなければならない。

【解説】

鉄筋位置やかぶりの測定結果は，かぶりコンクリートに物理的な変状が生じない限り大きく変化することはない。このため，測定された鉄筋位置およびかぶりの測定結果は，適切な方法で記録，保存し，有効に活用することが重要である。

記 入 用 紙 例

構 造 物 概 要 票

構造物名称		
管 理 者		
所 在 地		
路線名等		
測定対象構造物の 特　　徴	測定対象構造物	
	構造形式	
	諸　　元	
	竣　　工	
	塩害地域	
	交差物件	
	現地盤からの高さ	
	足 場 等	
	荷重・重要度	
	設計基準	
足場等の 必 要 性		
補修履歴 および 検査履歴 (既設の場合)		
備　　考		

測 定 記 録（１／３）

整 備 局		事務所名		出張所名		路線名		完成年月		
橋 梁 名		構造部形式		設計基準		コンクリート 設計基準強度		設計鉄筋間隔	主筋　　mm	配力筋　　mm
施工業者		調査年月		試験方法		測定部位		設計かぶり	主筋　　mm	配力筋　　mm

橋梁一般図（測定箇所を明示する）

測 定 記 録（２／３）

橋 梁 名		調査年月日	
		天　候	温度　　℃，湿度　　％

かぶり測定結果図

※ ひび割れ，はく離，塗装等があるときは，これらの情報も併記しておく。
※ 電磁波反射法の場合，各測定点に用いた誘電率も併記しておく。

測 定 記 録（３／３）

橋 梁 名	

	撮影内容
	特記事項
	撮影内容
	特記事項
	撮影内容
	特記事項

【付録】電磁誘導法および電磁波反射法の原理と特徴

(1)鉄筋位置およびかぶりを測定する非破壊試験方法

鉄筋のかぶりを非破壊で測定する方法としては，電磁誘導法，放射線透過法，電磁波反射法および超音波法がある。電磁誘導法は，コイルが巻かれたプローブに一次交流電源を流して交流磁場を発生させ，その磁場中に鉄筋が存在した場合に生じる二次電流から，発生した電圧の変化を把握し，コンクリート中の鉄筋のかぶりを評価するものである。放射線透過法は，医療分野で使われる，いわゆるX線法と同様のものであり，コンクリート構造物に放射線を透過させ，鉄筋により生じる影を解読する方法である。電磁波反射法は，レーダー法と称されるもので，放射した電磁波が，電気的に性質の異なる物質境界の存在により反射される現象を応用した測定手法である。また，超音波法は，コンクリート中を伝播する音波が鉄筋とコンクリートなどの異種物質間の境界面で反射あるいは回折する性質を利用したもので，送信探触子からコンクリート中に伝播した超音波の反射音を受信探触子で検出し，その間の所要時間を用いて距離を算出し，鉄筋位置を測定する方法である。これら４方法のうち，放射線透過法は実際の使用にあたっては法的な規制等の特殊性があるので，ここでは触れないこととした。また，超音波法も精度面で不明確な点があるので対象外とした。

各方法の特徴を**付録 表－1**に示す。

付録 表－1　鉄筋位置計測手法の評価

測定手法	精度	使い易さ	実績	経済性	その他
電磁誘導法	○	◎	◎	◎	-----
電磁波反射法	○	◎	◎	◎	-----
放射線透過法	◎	△	○	△	要資格
超音波法	△	◎	○	◎	-----

◎：優れている，○：普通，△：劣る

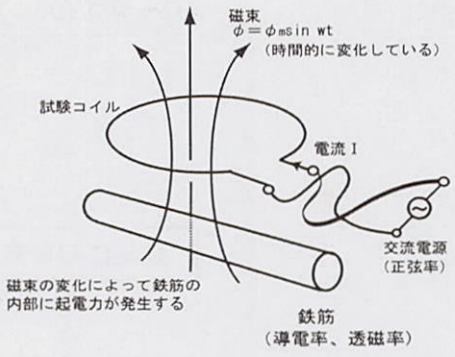
(2)電磁誘導法

電磁誘導法は，交流磁場によって鉄筋に生じる二次電流によって，鉄筋位置およびかぶりを測定する方法であり，試験コイルに交流電流を流すことによってできる磁界内に，試験対象物を配置することによって試験を行う。

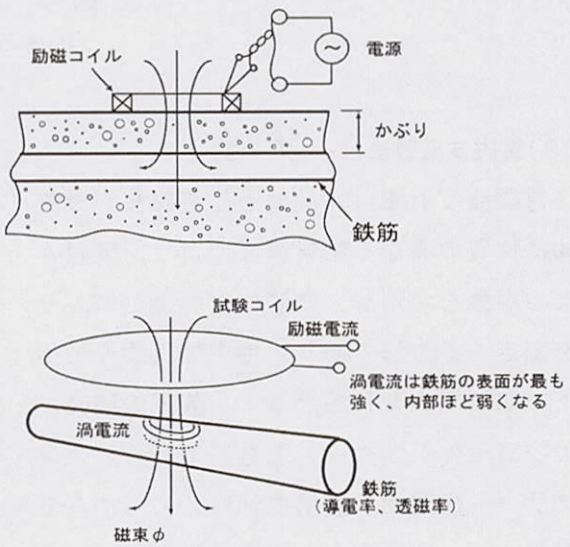
付録 図-1に試験コイルと鉄筋の配置を示す。導線を円形に巻いた試験コイルに交流電流を流すと，時間的に変化する磁束が発生する。この磁束は試験コイルを貫いているので，起電力が試験コイルに生じる(ファラデーの電磁誘導の法則)。試験コイルの磁束に影響を及ぼす因子は，大きく分けて二つあり，磁束の通しやすさを示す透磁率と鉄筋の導電率である。鉄の透磁率はコンクリートに比べて桁違いに大きいので，鉄筋の存在による透磁率の変化は磁束を大きく変化させる。また，付録 図-2で示したような電磁誘導現象は鉄筋の内部でも起こる。図に示すように，試験コイルが作る正弦波状の磁束を接近させた鉄筋の表面や内部にも試験コイルと同様に起電力が生じる。鉄筋は良導体なので，鉄筋の内部には渦電流と呼ばれる電流が流れる。この渦電流は鉄筋の導電率によって変化するが，試験コイルの作ったものとの磁束を打ち消す方向に，磁束を生じる向きに流れる。

電磁誘導現象によって鉄筋に発生する渦電流は，作用する交流磁束の周波数が高いほうが多く発生するため，周波数が低い場合には渦電流が減少し，鉄筋の透磁率の変化が支配的となる。このような場合には，鉄筋の磁気的な特性のみに影響を受けるので磁気的試験法，周波数が高く渦電流が主体となって磁束に変化を与える場合には，渦流試験法と呼ばれている。

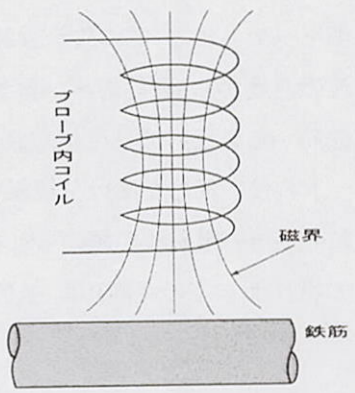
電磁誘導法による鉄筋探査装置は磁場を形成し，その影響度を求めるためのプローブと，磁場の変化により発生した電圧測定をするための測定機器により構成される。電磁誘導法の測定原理を付録 図-3に，測定フローを付録 図-4に示す。このコイルの電圧の変化は，鉄筋の径・寸法やコンクリート表面からの距離により変化するため，この関係を活用して，鉄筋のかぶり，位置あるいは鉄筋径等を評価している。



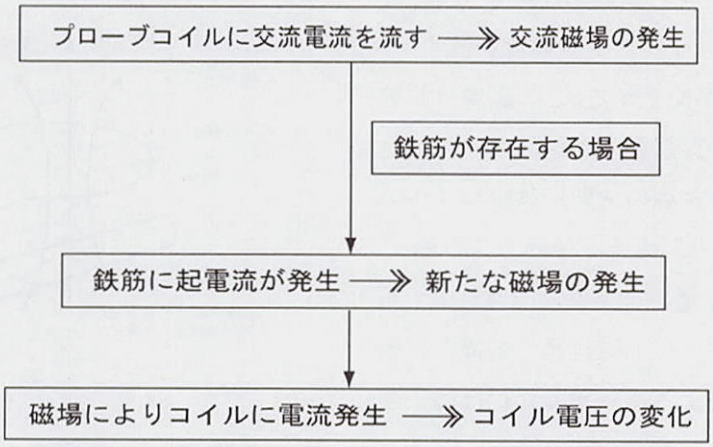
付録 図-1　試験コイルによる磁束と鉄筋



付録 図-2　鉄筋中に発生する渦電流



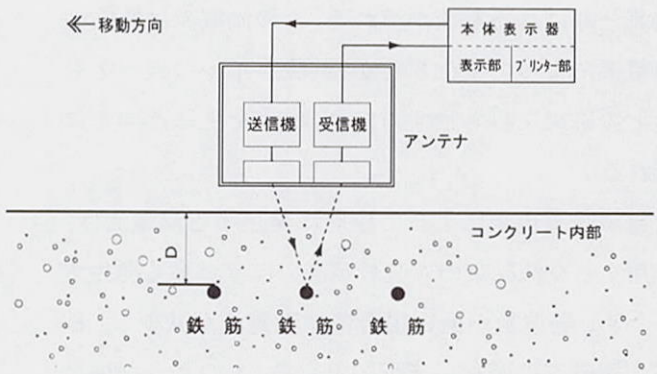
付録 図-3　電磁誘導法の測定原理



付録　図-4　電磁誘導法の測定フロー

（3）電磁波反射法（レーダー法）

電磁波反射法は，放射した電磁波が電気的に性質の異なる物質境界により，反射される現象を応用し，鉄筋位置およびかぶりを測定する方法であり，地中埋設物や地盤下の空洞探査を目的として，装置の開発および実用化が進められたものである。コンクリート構造物へ適用されはじめてから日が浅いが，鉄筋探査あるいは豆板，ジャンカなどの欠陥部の把握に利用されている。



付録 図-5　電磁波反射法の測定原理図

電磁波反射法の測定原理は，**付録 図-5**に示すように，アンテナからコンクリート表面に向けて放射された電磁波が，コンクリート中に存在する電気的な性質の異なる鉄筋，空洞などの境界面により反射され，受信アンテナでキャッチされる。電磁波が放射されてから，対象物で反射されて再びアンテナで受信されるまでの時間と電磁波の速度から，鉄筋あるいは欠陥部までの距離を求めることができる。また，このときにアンテナを移動して鉄筋からの反射波を受信すれば，鉄筋の位置が測定できる。

コンクリートの浅い部分を高い分解能で探査する必要があるため，アンテナから放射される送信波には，パルス幅のきわめて短い電磁波が用いられている。コンクリート中での電磁波の伝播速度Vは，次式で表される。

対象物との境界面までの距離Dは，発信時刻から反射波の受信時刻までの時間差Tより，次式で算出する。

$$V = C / \sqrt{\varepsilon_r} \qquad \text{付録 式 (1)}$$

ここに，　C ：真空中(空気中)での電磁波の速度(3×10^8m/s)

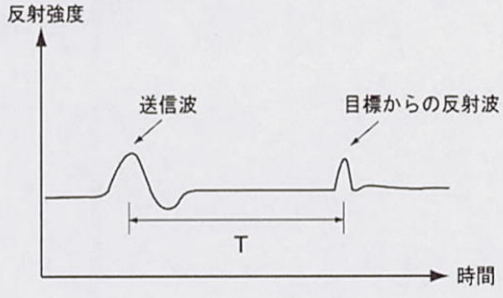
ε_r：コンクリートの比誘電率(おおむね6～12程度)

対象物と境界面までの距離Dを算出する基となる電磁波の速度は，(2.1)式に示したように，コンクリート

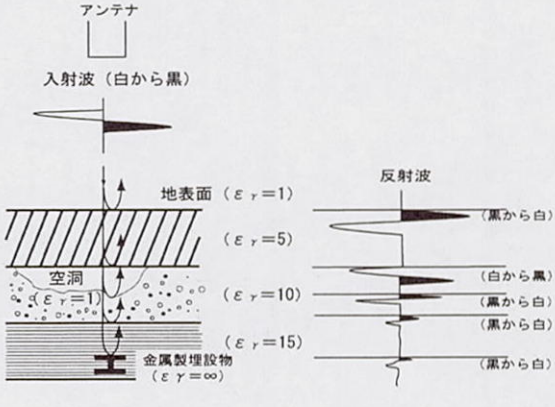
$$D = VT/2 \quad \text{---------- 付録 式(2)}$$

の比誘電率の影響を大きく受ける。比誘電率の大小は，コンクリートの組成等の影響もあるが，含水率の影響が極めて大きい。精度を向上させるためには，この補正が重要なポイントである。反射波形の模式図を**付録図-6**に示す。また，対象物の材質などは，**付録 図-7**に示したように，反射波の波形を観察することにより判断することができる。

反射波の特徴：
① 比誘電率の小さな物質から大きな物質へ電磁波が入射する場合には，反射波の位相は反転する。(空洞からコンクリート，コンクリートから鋼材，など)
② 比誘電率の大きな物質から小さな物質へ電磁波が入射する場合には，反射波の位相は反転しない。(コンクリートから空洞，など)



付録 図-6 反射波形の模式図



付録 図-7　反射した電磁波の波形